

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra bezpečnosti práce a procesů

Hodnocení rizik tlakové stanice amoniaku

Student: Bc. Klára Hanková

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Aleš Bernatík

Studijní program: Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor: Bezpečnostní inženýrství

Termín odevzdání diplomové práce: 16. 04. 2021

Anotace

HANKOVÁ, Klára. Hodnocení rizik tlakové stanice amoniaku. Ostrava, 2021. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Aleš Bernatík.

Předložená diplomová práce se zabývá posouzením rizik tlakové stanice amoniaku. Cílem práce je zhodnotit možná rizika vyskytující se na pracovišti pomocí metod analýzy rizik a následně navrhnout vhodná opatření pro jejich snížení. Teoretická práce se zabývá managementem rizik a historií havárií v technologiích podobných analyzované technologii. Praktická část se zaměřuje na představení podniku, technologie a její analýzu pomocí selektivní metody, metody ETA, metody FTA a modelování programem ALOHA. Následně jsou představena možná opatření.

Klíčová slova: prevence závažných havárií, ALOHA, ETA, FTA, QRA

Summary

HANKOVÁ, Klára. Risk assessment of ammonia pressure station. Ostrava, 2021. Diploma thesis. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Aleš Bernatík.

The diploma thesis focuses on risk assessment of a pressure station containing anhydrous ammonia. The thesis aims to evaluate possible risks occurring on the workplace via risk assessment tools and to propose possible precautions in order to decrease such risks. Theoretical part focuses on risk management and major accidents history of similar technologies containing anhydrous ammonia. Practical part introduces the company, assessed technology as well as the risk assessment itself including selection by Purple Book, ETA, FTA and hazard modelling by the software ALOHA and safety measures proposal.

Keywords: Major Accident Prevention, ALOHA, ETA, FTA, QRA

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce prof. Dr. Ing. Aleši Bernatíkovi za cenné rady a ochotný přístup během tvorby této diplomové práce.

Dále bych ráda poděkovala organizaci TEVA za možnost zpracování diplomové práce a poskytnutí potřebných podkladů.

Obsah

Úvod	5
1 Management rizik	6
1.1 Rámec řízení.....	7
1.2 Posuzování rizik	8
1.3 Ošetření rizik	11
1.4 Komunikace a konzultace	12
1.5 Monitorování a přezkoumávání	12
2 Metody analýzy rizik	13
2.1 Analýza stromu událostí (ETA – Event Tree Analysis).....	15
2.2 Analýza stromu poruchových stavů (FTA – Fault Tree Analysis)	16
2.3 Selektivní metoda podle Purple Book.....	17
2.4 Modelování následků havárií	20
2.4.1 ALOHA	21
3 Historie havárií amoniaku	23
4 Teva Pharmaceutical Industries.....	26
4.1 Teva Czech Industries	26
4.2 Využití čpavku	27
4.3 Popis objektu.....	27
4.4 Výměna zásobníku	32
5 Posouzení rizik tlakové stanice	34
5.1 Selektivní metoda.....	34
5.2 Modelování programem ALOHA	36
5.2.1 Únik ventilem	37
5.2.2 Únik potrubím.....	40

5.2.3 Únik dírou	41
5.2.4 Vyhodnocení programu ALOHA	44
5.3 FTA	45
5.4 ETA	47
6 Bezpečnostní opatření	48
6.1 Stávající bezpečnostní opatření	48
6.2 Navržená opatření	48
Závěr	50
Zdroje	51
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek	55
Příloha 1 – Textové výstupy programu ALOHA	1

Seznam použitých zkratk

ALOHA – Areal Locations of Hazardous Atmospheres

CCA – Analýza vztahu příčina-následek

CL – Check-list

EPS – Elektrická požární signalizace

ETA – Analýza stromu událostí

FMEA – Analýza způsobů a důsledků poruch

FTA – Analýza stromu poruchových stavů

HAZOP – Studie nebezpečí a provozuschopnosti

HRA – Analýza bezporuchové činnosti člověka

LC – Smrtelná koncentrace

OPIS HZS TCI – Operační a informační středisko Hasičského záchranného sboru Teva
Czech Industries

PHA – Předběžná analýza nebezpečí

QRA – Quantitative Risk Assessment

TNT – Trinitrotoluen

US EPA – Agentura pro ochranu životního prostředí

WI – Struktura „Co se stane, když“

Úvod

Moderní technický svět se neustále posunuje kupředu. Vznikají nové procesy, nové technologie a postupy. Přibývá poptávka a na to reaguje zvyšující se nabídka. To však také znamená, že dochází ke zvyšování rizik jdoucích ruku v ruce s (nejen) technickým odvětvím. Šlo by jmenovat řadu havárií, které vedly ke škodě na majetku, životním prostředí či dokonce ke ztrátě na životech. Rizika je proto potřeba snižovat, což vede nejen k omezení již zmíněných škod, ale také se jedná o mnohem levnější řešení než následné odstraňování následků havárií, o nevyčíslitelných škodách na životech nemluvě.

Management rizik se dynamicky vyvíjí, stejně jako průmysl samotný. Jeho cílem je snižovat rizika na přijatelnou úroveň a poskytnout tak bezpečnější pracoviště. Toho lze docílit využitím metod stanovených jak legislativně, tak i pomocí dobrovolných nástrojů představujících nadstandardní úroveň.

Nicméně rizika nelze vždy úplně odstranit. Důvodem k tomu může být technologické omezení nebo vysoká finanční náročnost. Ať už jakkoliv minimální, stále zůstává možnost, že nastane nějaká havárie. Je potřeba nejen dodržovat stanovená opatření, ale také taky zodpovědně a důsledně přistupovat ke své práci a svým jednáním a chováním přispívat ke zvýšení bezpečnosti.

Cílem této práce je zhodnotit tlakovou stanici obsahující amoniak – nově zavedenou součást technologie výroby léčiv v podniku Teva Czech Industries v Opavě. Práce se v úvodní části zabývá managementem rizik a metodami aplikovatelnými v této oblasti. Dále jsou představeny některé havárie, většího či menšího rozsahu, v podobných technologiích, které se již staly v různých částech světa. Praktická část představuje podnik a charakterizuje hodnocenou technologii. Dále se soustřeďuje na prováděnou analýzu pomocí vybraných metod. Na závěr jsou shrnuta již aplikovaná opatření a navržená nová na základě výsledků analýzy.

1 Management rizik

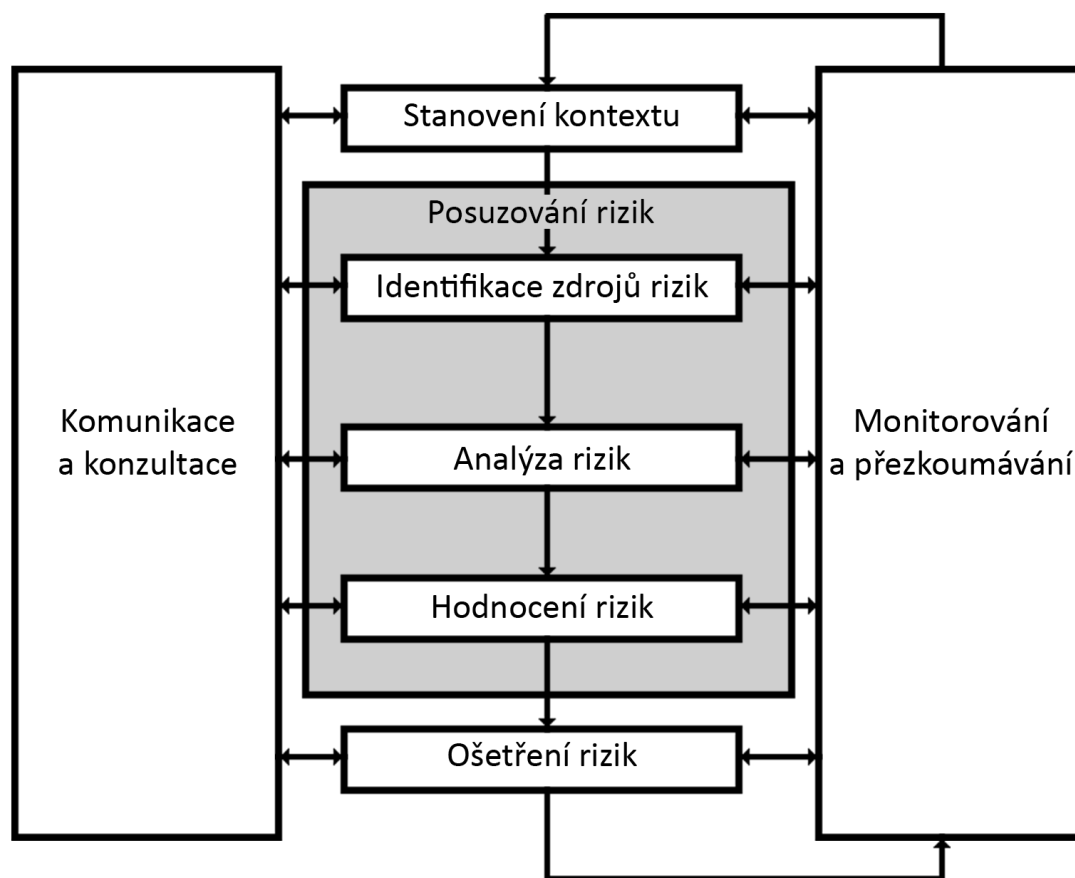
Rizika jsou nedílnou součástí jakéhokoliv konání. V oblasti pracovní činnosti rizika mohou vést k řadě nežádoucích dopadů, a proto je potřeba od základu vhodně uzpůsobit praxi tomu, aby pracovní rizika byla snížena na přijatelnou úroveň. Za tímto účelem jsou stanoveny nejen legislativní požadavky, představující minimum, které by měl zaměstnavatel dodržovat, nýbrž i mnohé dobrovolné nástroje umožňující další zvýšení úrovně bezpečnosti.

Jedním z nástrojů je management rizik, popsáný rodinou norem ISO 31 000. Řadí se zde norma ISO 31 000 Management rizik – Principy a směrnice, norma ISO 31 010 Management rizik – Techniky posuzování rizik a ČSN ISO 31022 Management rizik – Směrnice pro management právních rizik. Tato práce se však bude zabývat pouze prvními dvěma zmíněnými směrnici. [3]

Pokyny a doporučující postupy pro efektivní systém řízení rizik lze najít v normě ISO 31 000. Jejím účelem je navrhnout jednotné, systematické procesy tak, aby bylo řízení rizik napříč celou organizací efektivní a smysluplné. Směrnice poskytuje generický přístup, který je vhodné aplikovat na jakoukoliv organizaci a fázi procesu. V konečném důsledku by měla organizace být schopná zhodnotit rizika i následná opatření tak, aby nebylo zapotřebí dalších opatření a organizace snížila rizika na přijatelnou úroveň. [1]

Úspěšně zavedený (a neustále zlepšovaný) management rizik poskytuje organizaci mnoho výhod a pozitivních důsledků nejen v rámci bezpečnosti práce. Lze uvést zvýšení pravděpodobnosti dosažení cílů, důvěryhodnosti a pružnosti organizace, minimalizace ztrát či zlepšení finančního vykazování. Mezi výhody v oblasti ochrany zaměstnanců lze zmínit celkové zlepšení identifikace zdrojů a ošetřování rizik, efektivní využití zdrojů v této oblasti, prevence ztrát, či proaktivní vedení organizace. [1]

Následující obrázek znázorňuje proces managementu rizik včetně jednotlivých kroků. Ty budou dále podrobněji rozebrány v následujících kapitolách.



Obrázek 1: Schéma řízení rizik (upraveno dle [1])

1.1 Rámec řízení

Pro úspěšné zavedení a provádění řízení rizik je potřeba vytvořit vhodný rámec. Jeho součástí je kontext organizace, politika managementu rizik, zdroje, odpovědnost a komunikace. Každá organizace je svým fungováním odlišná, a proto si musí také vytvořit i individuální rámec, který následně umožní ideální integraci managementu rizik do všech úrovní řízení. [1]

– Kontext organizace

Kontext organizace představuje aspekty relevantní pro účely organizace. Tyto aspekty mají vliv na řízení organizace, a tudíž i na navržení vhodného rámce. Kontext je rozlišován na vnitřní a vnější; vnitřní kontext představuje faktory v organizaci, zatímco

vnější se týká aspektů ovlivňující organizaci z vnějška. Mezi vnitřní kontext řadíme vedení, organizační strukturu, role, politiky a cíle, způsobilosti, kulturu organizace, návody či smluvní vztahy. Pro vnější kontext lze uvést prostředí (sociální, kulturní, ekonomické, přírodní, technologické...), trendy a simulátory a vztahy organizace se zainteresovanými stranami. [1]

– Politika managementu rizik

Politika managementu rizik představuje smluvní závazek vrcholového vedení k plnění záměrů a zaměření organizace. Politika by měla jasně stanovit cíle zároveň zavazovat organizaci k jejich plnění. Vedení by se mělo zaměřit na důvody vedoucí k řízení rizik a odpovědnosti, vymezení zdrojů, vypořádání se s konflikty a neustálé zlepšování jak politiky, tak celkového rámce. [1]

Politika musí být vhodně sdělována zainteresovaným stranám. Měla by být svým zpracováním srozumitelná, dostupná (ať už v tištěné, či elektronické podobě) a relevantní.

– Odpovědnost

Organizace zajišťuje rozvržení odpovědností, kompetencí a pravomocí v rámci managementu rizik. To je prováděno na všech úrovních organizace pro zajištění plynulého a jasného řízení. [1]

– Zdroje

Pro plnění cílů managementu rizik je potřeba zajistit dostatečné zdroje. Mezi ně se řadí lidé, dovednosti, metody, nástroje, dokumentace, postupy a informace.

1.2 Posuzování rizik

Posouzení rizik je proces zahrnující identifikaci, analýzu a hodnocení rizik. Vychází jak ze stanoveného kontextu, tak i z použitých technik a metod. Ty se liší v závislosti na tom, jaké zdroje jsou k dispozici a jaké výsledky jsou požadovány. [1]

– Identifikace zdrojů rizik

V rámci identifikace zdrojů rizik probíhá vyhledávání, rozpoznávání a zaznamenávání rizik. Součástí vyhledávání rizik je i stanovení, za jaké situace by k výskytu

těchto rizik mohlo dojít. Stanoví se jak příčiny, tak následky vznikajících událostí. Výstupem tohoto kroku je vyčerpávající seznam rizik, se kterými se dále pracuje. Je důležité, aby byla identifikace komplexní a byla nalezeno co největší množství rizik; ta, která nebudou identifikována v tomto stádiu, nemohou být zahrnuta do následující analýzy a hodnocení.

Pro identifikaci rizik existuje řada různých metod lišících se svým přístupem:

- metody založené na důkazu (check-listy, historická data, ...);
- metody se systematickým přístupem týmu odborníků využívajících strukturovaný soubor otázek či výzev;
- metody založené na induktivním uvažování (metoda HAZOP, ...). [1]

– Analýza rizik

V tomto kroku probíhá detailní rozbor dříve identifikovaných rizik, aby jim mohl hodnotitel lépe porozumět, poznat jejich povahu a stanovit jejich úroveň. Během analýzy se určují především následky rizik a možnost jejich výskytu, případně další charakteristické vlastnosti, jako je počet ohrožených osob či možnost obranné reakce. Také by měly být identifikovány faktory ovlivňující charakter rizika a existující prvky řízení rizik a jejich efektivnost. [4]

Výsledky analýzy rizik slouží jako vstup pro hodnocení rizik. Rozhoduje se, která rizika je potřeba ošetřit a jakou strategii a metodu ošetření zvolit.

Analýzou následků se stanoví pravděpodobný dopad při výskytu nežádoucí události. Lze využít analýzu dostupných informací (statistiky pracovních úrazů), vlastní zkušenosti, modelování aj. Analýza má popisovat vyplývající následky, brát v úvahu již existující opatření a jejich efektivitu, stanovit následky jak bezprostřední, tak vznikající po určité době, případně sekundární následky – spojené se sousedními systémy. [1]

Možnost výskytu nežádoucí události se odvozuje za pomoci historických dat, analytických technik (analýza stromu poruchových stavů, analýza stromu událostí) a znaleckých posudků. [1]

Metody využívané v analýze rizik se dělí na kvalitativní, semikvantitativní a kvantitativní.

V rámci kvalitativních metod je úroveň rizika stanovena slovně (například „vysoká“, „střední“, „nízká“ úroveň) zohledňující pravděpodobnost a závažnost. Užitá škála může být upravena tak, aby vyhovovala konkrétní situaci. Tyto metody lze využít v jednodušších provozech nebo v situacích, kdy chybí dostatečné číselné údaje pro provedení kvantitativních metod. Jaké příklad kvalitativní metody lze uvést analýzu příčin a následků poruch (FMEA), analýzu WHAT IF, brainstorming a další. [1]

Semikvantitativní metody pro výstup využívají kvalitativní stupnice s přidělenými číselnými hodnotami, určující míru rizika. [23]

Kvantitativní metody využívají číselné ohodnocení charakteristik rizika. Pro využití těchto metod je potřeba zajistit dostatečná vstupní data, informace o systému a prováděné činnosti. Tyto metody také bývají časově náročnější oproti kvalitativním. Musí být stanovené jasné jednotky, vysvětlení použitých termínů a zaneseny podklady využitých kritérií. Je potřeba brát v úvahu, že použití kvantitativní metody automaticky nezaručuje výsledky dokonale odpovídající realitě, tedy stále se jedná o odhady a jejich přesnost je závislá na přesnosti použité metody. [1] [23]

– Hodnocení rizik

Během hodnocení rizik probíhá porovnávání výsledků předchozí analýzy s kritérii stanovenými v kontextu řízení. Stanoví se, zda je potřeba riziko ošetřit, případně jakým způsobem provést ošetření. V běžné praxi jsou rozlišovány tři úrovně hodnocení:

- nepřijatelná rizika, kde je ošetření nezbytně nutné pro pokračování v činnosti;
- podmíněně přijatelná rizika, kde je ošetření rizik zvažováno na základě nákladů, přínosů v případě provedení ošetření, či následků v případě nastání události;
- přijatelná rizika, jejichž míra je považovaná za zanedbatelnou a jejich ošetření není vyžadováno. I přes zanedbatelnost však riziko stále existuje a je potřeba na něj alespoň upozornit. [1]

Hodnocení o méně, než třech úrovních jsou nedostačující, jelikož neodrážejí nejistoty předchozích kroků posouzení rizik a stanovení hranice mezi jednotlivými

úrovněmi. Hodnocení o více úrovních na druhou stranu jsou někdy využívána; v jednotlivých úrovních bývají stanovené konkrétnější podmínky týkající se opatření.[1]

Při hodnocení rizik je potřeba brát v úvahu, že se jedná o subjektivní proces a hrozí tedy možnost nadhodnocení či podhodnocení rizik, přičemž žádná z uvedených situací není žádaná. Nadhodnocení rizik sice může vést ke zvýšení bezpečnosti na pracovišti, je však nežádoucí z ekonomických důvodů; podhodnocení rizik zase nepovede k ošetření všech rizik, která je potřeba ošetřit.

1.3 Ošetření rizik

V nejideálnější situaci by se mělo vzniku rizik předcházet. To však není v praxi vždy možné, a proto existují způsoby ošetření rizik, které se liší svou vhodností. Jedna z možných hierarchií použitelnosti opatření vypadá následovně:

1. vyloučení rizika;
2. nahrazení menším rizikem;
3. omezení rizika u zdroje;
4. použití kolektivní ochrany;
5. přizpůsobení se technickému pokroku a novým informacím;
6. snaha o zlepšení míry ochrany. [6]

Zaměstnavatel má povinnost upřednostnit prostředky kolektivní ochrany před ochranou osobní. V případě kolektivních prostředků se jedná například o technické, technologické či organizační opatření, typicky chránící více zaměstnanců najednou. Tato ochrana je obecně účinnější a umožňuje zaměstnancům volný pohyb. K prostředkům individuální ochrany patří zejména OOPP, mycí, čistící, dezinfekční prostředky a ochranné nápoje. [7]

Při ošetřování rizik může dojít ke změně stávajících rizik nebo dokonce ke vzniku rizik nových. Proto je po ošetření potřeba vyhodnotit jeho efektivnost, případně následně ošetření upravit nebo provést nové. [6]

1.4 Komunikace a konzultace

Během každého kroku procesu posuzování rizik by měla probíhat komunikace se zainteresovanými stranami a získávání, sdílení a poskytování informací týkajících se managementu rizik. Účelem je zajištění, aby všechny strany, včetně odpovědných pracovníků, rozuměly uskutečněným rozhodnutím a jejich odůvodněním. Jednotlivé strany podílející se na rozhodnutích také mají různé úsudky o rizicích v závislosti na jejich přístupech, hodnotách a potřebách, a proto může konzultace podstatně ovlivnit konečná rozhodnutí. [1]

Předávané informace se vztahují k posuzovaným rizikům, jedná se např. o povahu rizik, jejich formu, možnost výskytu, významnost, přijatelnost či ošetření.

1.5 Monitorování a přezkoumávání

Během procesu posuzování rizik může dojít ke změnám různých ovlivňujících faktorů v průběhu času. Tyto faktory by měly být identifikovány a dále monitorovány, aby mohl být proces v případě potřeby upraven. Dalším důvodem monitorování je sběr dat pro zlepšení procesu managementu rizik. [1]

V rámci přezkoumávání se stanoví vhodnost, efektivnost a přiměřenost určitého předmětu, aby mohlo být dosaženo stanovených cílů.

2 Metody analýzy rizik

Analýzu rizik lze provádět různými metodami na různých stupních hloubky. Metoda analýzy by měla být zvolena tak, aby byl způsob jejího použití ověřitelný, opakovatelný a aby poskytla výsledky ve vhodné formě, která povede k lepšímu pochopení rizik a následnému rozhodnutí o opatřeních.

V rámci procesu by měly být jasné stanovené důvody pro zvolení metody. Volba vhodné metody se odvíjí od řady faktorů, mezi nimi lze uvést:

- stanové cíle posuzování rizik;
- charakteristiky analyzovaných rizik;
- potenciální závažnost následků;
- množství potřebných zdrojů, vč. zdrojů expertních;
- dostupnost informací a dat;
- potřeba možného aktualizování techniky v budoucnosti. [2]

Následující tabulka zobrazuje výčet několika běžně využívaných metod a jejich aplikovatelnost na různé fáze procesu posuzování rizik.

Tabulka 1: Vhodnost vybraných metod analýzy rizik dle fáze procesu posuzování rizik (upraveno dle [2])

Nástroje a techniky		Proces posuzování rizik				Hodnocení rizik
		Identifikace zdrojů rizik	Analýza rizik			
			Následek	Pravděpodobnost	Úroveň rizika	
Check-list		VP	N	N	N	N
Předběžná analýza nebezpečí (PHA)		VP	N	N	N	N
Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP)		VP	VP	P	P	P
Struktura „Co se stane, když“ (WI)		VP	VP	VP	VP	VP
Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)		VP	VP	VP	VP	VP
Analýza stromu poruchových stavů (FTA)		P	N	VP	P	P
Analýza stromu událostí (ETA)		P	VP	P	P	N
Analýza bezporuchové činnosti člověka (HRA)		VP	VP	VP	VP	P
Analýza vztahu příčina-následek (CCA)		P	VP	VP	P	P
Vysvětlivky:	VP – velmi použitelná P – použitelná N – nepoužitelná					

- Dostupnost zdrojů

V rámci dostupnosti je potřeba brát v úvahu nejen materiálové zdroje, ale taky odbornost jedince či týmu provádějícího posuzování rizik. Zvolená metoda by z hlediska složitosti měla odpovídat schopnostem a znalostem pracovníka či pracovníků. Dále je potřeba brát v úvahu časové možnosti a jejich omezení a časovou náročnost zvolené techniky. [2]

- Fáze života zařízení

Aplikovatelnost metody závisí také na tom, v jaké fázi se daný proces nachází. Následující tabulka znázorňuje výběr metod analýzy rizik a jejich vhodnost z tohoto hlediska.

Tabulka 2: Vhodnost vybraných metod analýzy rizik dle fáze procesu (upraveno dle [20])

	CL	PHA	WI	HAZOP	FMEA	FTA	ETA	CCA	HRA
Výzkum a vývoj	–	+	+	–	–	–	–	–	–
Koncepční návrh	+	+	+	–	–	–	–	–	–
Poloprovoz	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Detailní návrh	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Montáž/Najíždění	+	–	+	–	–	–	–	–	+
Běžný provoz	+	–	+	+	+	+	+	+	+
Rozvoj/Modifikace	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vyšetřování nehod	–	–	+	+	+	+	+	+	+
Prověření	+	–	+	–	–	–	–	–	–

Vysvětlivky:	+ běžně využívané
	– zřídka využívané, nevhodné

2.1 Analýza stromu událostí (ETA – Event Tree Analysis)

Metoda ETA je grafická technika analyzující možné následky havárie vyplývající z iniciační události. Iniciační událost (počáteční porucha) je větvena v závislosti na tom, zda fungují či nefungují různé systémy. Na konci každé větve je výsledná událost, případně

uvedená vypočtená frekvence. Analýzu lze využít pro modelování a výpočet různých nehodových scénářů. [2]

Techniku lze aplikovat jak kvantitativně, tak kvalitativně. Kvantitativní aplikování zohledňuje přijatelnost prvků řízení. Využívá se k modelování poruch tam, kde je zavedeno mnoho bezpečnostních opatření. Kvalitativně se metoda využívá jako pomůcka brainstormingu při navrhování různých nehodových scénářů a jejich následků, včetně vlivu opatření na tyto následky. [2]

Pro využití metody je potřeba určit iniciační událost, znát ošetření systému a prvky řízení rizika. Taktéž je vyžadováno porozumění procesům, kterými se stupňuje iniciační událost. V případě kvantitativní analýzy je dále potřeba znát frekvenci poruch. [2]

Výstupy analýzy jsou kvalitativní popis možných událostí a následků vycházejících z iniciační události, kvantitativní odhady četností událostí, doporučení pro snížení rizik a jejich efektivnost. [2]

Časová náročnost metody se odvíjí od počtu a složitosti iniciačních událostí a znalosti systému a jeho prvků. Zpracování metody může zabrat několik dní v případě jednoduššího systému, až několik týdnů u složitých procesů. [2]

Výhodou metody je schématické znázornění možných scénářů, včetně prvků a jejich vlivů na probíhající události. Mezi omezení lze zařadit nutnou znalost iniciačních událostí, případně jejich četnosti. Dalším nedostatkem metody je omezení znázornění stavů, jelikož lze zahrnout pouze stavy úspěchu či poruchy, a nemožnost zahrnutí opožděné události (např. obnovy). [2]

2.2 Analýza stromu poruchových stavů (FTA – Fault Tree Analysis)

Metoda FTA slouží k identifikaci a analýze faktorů, které mohou ovlivnit vrcholovou událost (také nežádoucí událost). Jednotlivé faktory jsou určeny deduktivně a logicky organizovány. K faktorům lze zařadit i události související s nežádoucí událostí (poruchy, lidské chyby, aj.). [2]

Metodu lze použít jak kvalitativně, tak kvantitativně. V rámci kvalitativní analýzy je potřeba porozumět systému a příčinám poruchy. K provedení analýzy dále pomáhají

podrobné diagramy. Pro kvantitativní analýzu jsou potřebná data o poruchách; o jejich intenzitě, případně pravděpodobnosti nefunkčního stavu. [2]

Pro provedení analýzy je nutno znát, jak může dojít k vrcholové události, a jak může dojít ke vzájemnému ovlivňování událostí vedoucích k vrcholové události. Dále je potřeba znát pravděpodobnost nastání vrcholové události. [2]

Metoda je prováděna ve třech základních krocích; jako první je stanovení vrcholové události, poté následuje určení situací, které k vrcholové události vedou, a následně jsou stanoveny vztahy mezi jednotlivými situacemi. Pro znázornění vztahů se využívají logická hradla „a“ a „nebo“. V případě spojení událostí hradlem „a“ musí nastat všechny spojované situace, aby nastala událost o úroveň výše, kdežto u hradla „nebo“ stačí, aby nastala jedna z možných situací. [5]

Výhodou metody FTA je systematickosti a flexibilita systému. Metoda je schopná zohledňovat a analyzovat jak lidské interakce, tak fyzické jevy. Díky postupování od vrcholové události k základním událostem se analýza soustředí pouze na ty události, které mají skutečný vliv na nežádoucí událost. Grafické znázornění umožňuje snadné pochopení systému a faktorů. [2]

Metoda může být omezena tam, kde nejsou přesně známy pravděpodobnosti základních událostí, které vedou k události vrcholové. Nepřesnosti základních událostí se tak promítnou do konečného výpočtu a výsledné pravděpodobnosti vrcholové události. V případě velmi složitých systémů mohou vznikat i velmi složité stromy poruchových stavů; pro jejich zpracování je následně potřebné využít počítačové systémy. [2]

Při vytváření stromu poruchových stavů se nelze zaměřit na vzájemné časové závislosti. Stejně tak nejde zahrnout domino efekty. Strom je také schopen pracovat pouze s binárními stavy (nastane porucha/nenastane porucha). [2]

2.3 Selektivní metoda podle Purple Book

Selektivní metoda CPR 18E je využívána k identifikaci zdrojů rizik závažné havárie. V této metodě jsou zvlášť hodnocené vybrané objekty či zařízení systému a na základě daných podmínek je posouzeno, zda se jedná o zdroje rizika závažné havárie a je potřeba provést následnou detailní analýzu QRA. [21]

Metoda QRA je vhodným nástrojem pro posouzení rizik nakládání s chemickými látkami. To zahrnuje jejich použití, přepravu i skladování. Počet zařízení, ve kterých je jakýmkoliv způsobem nakládáno s chemickými látkami, může být značně vysoký, a každé zařízení je jinak rizikové, proto je vhodné nejdříve vybrat ta zařízení, která představují závažné riziko. [21]

Selekci zdrojů rizik lze provést různými technikami, mezi nejznámější lze zařadit již zmíněnou metodu výběru dle Purple Book. Dále se využívají screeningové či indexové metody, například IAEA-TECDOC-727, DOW's Fire and Explosion Index nebo DOW's Chemical Exposure Index. [22]

Výběr samotných jednotek/zařízení se odvíjí od toho, zda by v důsledku úniku obsahu z jedné jednotky nedošlo k významnému úniku z jednotky druhé. U každého objektu je dále potřeba stanovit, zda se jedná o procesní či skladovací jednotku. Součástí procesní jednotky může být několik nádrží, systém potrubí a další zařízení, zatímco skladovací jednotkou je cisterna, která je vždy považovaná za samostatnou jednotku. Proces určení samostatných jednotek a jejich rozdělení může být velmi složitý a je vhodné, aby se na něm podílelo více kompetentních osob. [21]

U každé samostatné jednotky je určeno indikační číslo A, které závisí na množství látky v jednotce, jejích vlastnostech a provozních podmínkách. Indikační číslo tak stanoví vlastní nebezpečí dané jednotky. Jedná se o bezrozměrné číslo, které je vypočteno pomocí vzorce:

$$A = \frac{Q \cdot O_1 \cdot O_2 \cdot O_3}{G}. [21]$$

Q vyjadřuje množství látky v kilogramech, O_i vyjadřují faktory procesních podmínek a G představuje limitní množství látky v kilogramech. [21]

Hodnota Q je závislá na celkovém množství látky, kterou jednotka obsahuje. Pro směsi a roztoky jsou určeny dvě situace:

- pokud je nebezpečná látka rozpuštěná v látce bez nebezpečných vlastností, během výpočtu se pracuje pouze s množstvím nebezpečné látky. Směsi a přípravky toxických látek jsou brány v úvahu pouze pokud se jedná o látky vysoce toxické;

- pokud má roztok jako takový nebezpečné vlastnosti, je brán v úvahu jako celek. [21]

Faktor O_1 určuje, zda je jednotka procesní, či skladovací. V případě procesní jednotky je jeho hodnota 1, v případě skladovací jednotky je faktor roven 0,1.

Faktor O_2 zohledňuje umístění jednotky a možnost rozptýlení látky do okolí. Může nabýt hodnot 1 či 0,1. Konkrétní podmínky jsou uvedeny v tabulce 3. [21]

Tabulka 3: Hodnoty faktoru O_2 [21]

Umístění	O_2
Vně budovy	1,0
Uvnitř budovy	0,1
Jednotka umístěná v jímce a provozní teplota T_p je nižší než teplota normálního bodu varu T_{bv} zvýšená o 5 °C, tj. $T_p \leq T_{bv} + 5\text{ °C}$	0,1
jednotka umístěná v jímce a provozní teplota T_p je vyšší než teplota normálního bodu varu T_{bv} zvýšená o 5°C, tj. $T_p > T_{bv} + 5\text{ °C}$	1,0

Faktor O_3 zahrnuje vliv provozních podmínek a vyjadřuje množství látky, které bude po úniku v plynné fázi. Nabývá hodnot od 0,1 pro látky v pevné fázi až po hodnotu 10 pro látky již se v plynné fázi nacházející. Hodnota pro kapalné látky je určena na základě tlaku nasycených par při provozní teplotě. [21]

Limitní hodnota G posuzuje nebezpečné vlastnosti látky určené na základě fyzických vlastností. Způsob určení se liší pro látky toxické, výbušné a hořlavé. [21]

V případě látky toxické se bere v úvahu smrtelná koncentrace LC_{50} (rat, inh, 1h) ve fázi při 25 °C. Kapalná fáze se dále rozlišuje na 3 podkategorie v závislosti na bodu varu. Koeficient může nabývat hodnot od 0,3 kg až po hodnoty nekonečně velké. Limitní hodnota pro hořlavé látky je 10 000 kg. Limitní hodnota pro látky výbušné je stanovena v takovém množství, v jakém dojde k uvolnění energie srovnatelnému s 1 000 kg TNT (výbušná energie 4 600 kJ/kg). [21]

V případě, že v jednotce nachází více látek či více různých provozních podmínek, je indikační číslo vypočteno zvlášť pro každou látku při konkrétních podmínkách. Výsledná

indikační čísla se poté sečtou. Indikační čísla pro látky o různých nebezpečných vlastnostech se však nesčítají. Každá jednotka tak může mít až tři indikační čísla A^T pro látky toxické, A^F pro látky hořlavé a A^E pro látky výbušné. [21]

Selektivní číslo S uvažuje riziko dané jednotky vůči kontrolním bodům v oblasti. Je určeno minimálně 8 míst, kdy sousední místa mezi sebou nesmí mít vzdálenost větší než 50 m. Kontrolní body jsou stanoveny podél hranice areálu, a to i v případě, kdy areál hraničí s objektem podobného typu. V případě hranice s vodní plochou je jako kontrolní bod určen protější břeh. V případě, že se jednotka nachází v obydlené oblasti, musí být jako kontrolní bod stanovena tato oblast. [21]

Zařízení je posouzeno metodou QRA, pokud splňuje následující podmínky

- Selektivní číslo v kontrolním bodě vyjde větší než 1, nebo je větší než 50 % maximálního selektivního čísla v dané lokaci.
- Selektivní číslo je větší než 1 v obydlené oblasti. [21]

2.4 Modelování následků havárií

Modelování umožňuje graficky znázornit projevy a následky možných havárií. Modelování lze rozdělit na tři základní typy;

- havarijní modelování se využívá po vzniku havárie pro co nejrychlejší odhadnutí následků. Při tomto modelování se využívají jednoduché nástroje s přehlednými a jednoznačnými výstupy, které umožňují rychlou orientaci. Modelování je závislé na dostupných informacích a mělo by být prováděno pouze kvalifikovanou osobou;
- prognostické modelování se využívá v rámci analýzy možných následků havárie. Výstupy se využívají jako podnět při vyhodnocení rizik či ke stanovení maximálních projevů a následků havárií. Výsledky jsou také orientačně využitelné v případě nastání havárie. Prognostické modelování umožňuje zadání detailnějších informací a většinou je prováděno komplexními počítačovými programy;
- znalecké modelování poskytuje nejpresnější výsledky ze všech typů. K modelování se využívají proběhlé havárie nebo přesně definované

potenciální havárie. Toto modelování má k dispozici velmi přesné informace a je možná kontrola modelovaných výstupů s následky havárie. Modelování je prováděno v počítačových programech, obdobných pro prognostické modelování.

V rámci analýzy možných následků se nejčastěji využívá modelování prognostické.

Existuje celá řada softwaru určeného pro modelování následků a projevů havárií, mezi nejznámější patří ALOHA, EFFECTS, CHARM, DAMAGE atd. Jako českého zástupce lze uvést program ROZEX.

2.4.1 ALOHA

Program ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) je nástroj pro modelování rozptylu nebezpečných látek v atmosféře. Jedná se o bezplatný software vyvíjený Agenturou pro ochranu životního prostředí (US EPA) nacházející se ve Spojených státech Amerických. [8]

Program ALOHA je schopný namodelovat jak rozptyl chemických látek, tak i scénáře zahrnující požár či výbuch. Výsledný model sice nebývá úplně přesný, modelování lze však provést velmi rychle, a program je proto mimo jiné vhodný i pro havarijní modelování. [8]

Model je vytvořen na základě zadání vstupních dat. Jedná se o:

- data o poloze,
- chemickou látku a její vlastnosti,
- atmosférické podmínky,
- typ zdroje. [8]

Mezi data o poloze se řadí jednak geografická poloha místa úniků, údaje o typu budovy a členitost okolního terénu. Data o chemické látce program čerpá z databáze a uživateli stačí zadat název látky, případně roztoku. Mezi atmosférické podmínky se řadí rychlost a směr větru, stabilita atmosféry, teplota vzduchu, vlhkost a oblačnost. Na výběr je celkem ze čtyř typů zdroje, jedná se o přímý zdroj, kaluž, nádrž a potrubí. Každý z těchto zdrojů je následně individuálně popsán dalšími parametry jako jsou rozměry, umístění otvoru úniku, množství unikající látky, tlak a jiné. Před samotným modelováním lze ještě

zvolit algoritmus rozptylu. ALOHA nabízí buď Gaussovský rozptyl či rozptyl těžkých plynů. [8]

Výstupem programu jsou data v textové formě či grafické znázornění. V případě grafického znázornění si může uživatel navolit vlastní limity koncentrace, které se následně zobrazí na grafech. Program je schopný zobrazit plošné rozšíření kontaminantu i změnu množství unikající látky v čase. [8]

ALOHA také spolupracuje s programem MARPLOT, do kterého je možné data modelu převést a rozptyl chemické látky znázornit na mapě. [8]

Výsledný model rozptylu není dokonalý; ALOHA nedokáže zahrnout aspekty jako jsou produkty požáru, exploze nebo chemické reakce, které mohou probíhat během rozptylu v atmosféře; rozptyl chemických směsí; změny směru větru či překážky v terénu (lesní porost, kopce, města) a jeho vliv na směr větru; členitost terénu, nebo odlétající úlomky během exploze. [9]

3 Historie havárií amoniaku

Tato kapitola se zabývá již nastalými haváriemi amoniaku v zařízeních či provozech podobných zkoumanému zařízení. Nejedná se o kompletní výčet havárií tohoto typu, nicméně uvedené příklady mohou sloužit jako ukázka toho, co se potenciálně při havárii zahrnující amoniak může stát.

– Únik ze spojených nádrží

V květnu roku 2019 došlo v nejmenované evropské zemi k úniku amoniaku z jedné ze dvou spojených nádrží skrze ventil a následnému rozptýlení ve vzduchu. Nádrž obsahovala celkem 800 litrů amoniaku, druhá nádrž byla prázdná. K úniku došlo během provádění údržby, kdy bylo prováděny přípravy pro pravidelnou 4letou interní prohlídku. Na následky úniku zemřel jeden zaměstnanec, další dva byli zraněni, z toho jeden vážně. Dále bylo potřeba ošetřit několik členů zasahujících jednotek. [10]

Příčinou havárie byla lidská chyba; zaměstnanci nedodržovali správné postupy. Amoniak měl být převeden z jedné nádrže do druhé, nicméně ventily nebyly správně zajištěny a po automatickém otevření ventilu mezi nádržemi došlo k úniku v bezprostřední blízkosti pracujících zaměstnanců. [10]

– Výbuch potrubí

V červenci roku 2000 došlo k výbuchu v chemickém závodě ve Volgogradu, Rusku. Na následky havárie zemřely dvě osoby a sedm bylo zraněno. K úniku došlo při výbuchu potrubí, který také způsobil únik látky do ovzduší. [16]

– Únik otevřeným ventilem

V únoru roku 2014 došlo k úniku zkapalnělého amoniaku. K havárii došlo v podniku vyrábějícím organické látky v nejmenované evropské zemi. Událost se stala během kontroly ovládacího zařízení automatických ventilů potrubí pro zkapalnělý amoniak vedoucí do technologické věže. Operátor kontrolující systém si nebyl vědom přítomnosti externího zaměstnance a před kontrolou neuzavřel manuální ventil, čímž nedodržel bezpečnostní předpisy. V důsledku této chyby došlo k úniku asi 150 kg zkapalnělého amoniaku v technologické věži a následnému vypaření a úniku do okolí skrze otvory na přívod

vzduchu. Externí zaměstnanec se nacházel u jednoho otvoru přívodu vzduchu, čímž byl přímo vystaven oblaku amoniaku a vážně zraněn. Na následky zranění po několika týdnech zemřel. [11]

Podnik v důsledku havárie zavedl několik nápravných opatření. Pro činnosti týkající se najiždění technologií a údržby byly zavedeny check-listy. Byla zavedena povinnost uzavřít ruční ventily při každém zastavení technologie. Dále byla zavedena kontrola a zhodnocení výcvikových programů, zaučení pro externí zaměstnance a kontrola zaměstnanců po výcviku. Na technologii byl nainstalován detektor amoniaku se zvukovými a světelnými signály a napříč areálem podniku byly zajištěno nouzové větrání. [11]

– Únik při přepravě nádrží

V prosinci roku 2001 došlo v nejmenované evropské zemi k úniku zkapalnělého amoniaku při přepravě dvou nádrží v nakládacím doku. Nádrže obsahující dohromady necelých 100 litrů chemikálie byly přepravované dvěma zaměstnanci. Zaměstnanci si mysleli, že nádrže byly prázdné. Při přenosu došlo k poškození potrubí a z nádrží unikl celý obsah, který se vylil na podlahu. [12]

Dva zaměstnanci na nacházející se na nakládacím doku byli vážně zraněni; jeden z nich zemřel. Třetí zaměstnanec byl zraněn. [12]

– Únik při údržbě čidla

V srpnu roku 2009 došlo k úniku amoniaku z potrubí v zařízení na zkapalnění oxidu uhličitého v chemickém závodě v nejmenované evropské zemi. Amoniak v množství 5 tun byl využíván k chlazení procesu zkapalnění. Den před havárií bylo rozebráno tlakové čidlo z důvodu provedení údržby vysokotlakového okruhu amoniaku. Tlakové čidlo také zajišťovalo regulaci optimálního tlaku v potrubí. Následující den byla technologie znova spuštěna, ale čidlo bylo stále opravováno. Při vychýlení technologie z normy došlo ke zvýšení tlaku a teploty v potrubí. Nakonec však došlo k otevření pojistného ventilu a 200 kilogramů amoniaku bylo odvedeno větracím otvorem ve výšce 17 metrů. [13]

300 osob bylo evakuováno, z čehož 24 lidí si stěžovalo na mírné zdravotní obtíže. Čtyři osoby byly hospitalizovány. Po havárii byla provedena analýza rizik a nainstalována bezpečnostní zařízení. [13]

– Únik při údržbě nádrže

V lednu roku 2008 došlo v Nebrasce k úniku amoniaku během provádění údržby nádrže. Před započítím prací byla nádrž téměř vyprázdněná. Externí zaměstnanci prováděli instalaci izolace na nádrži. Během manipulace s přenosným lešením došlo k otevření přetlakového uzávěru a uvolnění výparů amoniaku do ovzduší. Jeden ze zaměstnanců byl hospitalizován po popálení oka a plic. Další dva zaměstnanci byli posláni do nemocnice na pozorování. [14]

– Únik při přehřátí

V květnu roku 2001 došlo k úniku necelých 200 kg amoniaku v podniku vyrábějícím desky plošných spojů v Kalifornii. Nádrž amoniaku byla přehřátá vadnou topnou jednotkou. Jednotka, která běžně sloužila k vypařování amoniaku, se při zvýšení teploty nevypnula, čímž způsobila zvýšení tlaku. Během následné evakuace došlo k exponování 23 osob amoniakem, z čehož šest jich bylo popáleno. Během havárie nikdo nepracoval v blízkosti nádrže. [15]

4 Teva Pharmaceutical Industries

TEVA je jednou z největších farmaceutických společností světa. Jedná se o nadnárodní izraelskou společnost zaměřenou na výrobu generických léčiv. Závody TEVA se nacházejí v Izraeli, Severní Americe, Evropě, Austrálii a Latinské Americe. V České republice funguje závod Teva Czech Industries umístěn v Opavě-Komárově. [17]

Počátky společnosti sahají již do roku 1901, kdy Chaim Solomon, Moshe Levin a Yitschak Elstein v Jeruzalémě založili malý podnik zvaný Assia. Dováželi a dále distribuovali léčiva pomocí vozů tažených mezky a velbloudími karavanami. [17]

V roce 1976 došlo ke sloučení s farmaceutickou společností Zori a poprvé vznikla Teva Pharmaceutical Industries, největší farmaceutická společnost v Izraeli. TEVA postupně rostla a rozšířila se i na další kontinenty prostřednictvím úspěšných akvizic dalších společností. V dnešní době se jedná o jednu z největších farmaceutických firem na světě. [17]

TEVA se zabývá nejen výrobou generických léčiv, ale taky aktivních farmaceutických substancí, biofarmaceutických přípravků a v neposlední řadě i výzkumem a vývojem. [17]

4.1 Teva Czech Industries

TCI sídlí ve výrobním komplexu v Opavě-Komárově. Komplex byl původně v roce 1883 založil lékárníkem PhMr. Gustavem Hellem jako společnost G. Hell & Comp. Původní společnost byla v roce 1945 znárodněna a do roku 1993 fungovala pod názvem Galena. V roce 2006 byla převzata společností TEVA. [18]

V dnešní době se jedná o nejmodernější výrobní provoz na výrobu tablet a tobolek v Evropě a globální centrum výroby protinádorových léčiv a nosních sprejů. Součástí Opavského závodu je také odborný výcvik čtyřletého maturitního oboru chemik-operátor. [18]

Opavský závod znázorněný na obrázku 2 zaměstnává okolo 1 600 lidí. [18]



Obrázek 2: Teva Czech Industries [19]

4.2 Využití čpavku

Čpavek je využíván ve výrobním procesu k neutralizaci kyseliny sírové. Produkty neutralizace jsou dále zpracovávány za účelem výroby léčiv. Čpavek byl pro tento proces zvolen jakožto nejvhodnější chemická látka. Jiné varianty představovaly více rizik v rámci pracovního procesu nebo nebyly pro danou chemickou reakci vhodné; jejich použitím vznikaly dále nevyužitelné produkty.

Čpavek se nachází v tlakové stanici mimo výrobní halu. Stanice je k výrobní hale napojena potrubím, na jehož konci je čpavek manuálně odebírán obsluhou.

4.3 Popis objektu

Tlaková stanice amoniaku je přistavena k budově výrobní haly v areálu firmy. Stanice je postavena na betonovém základu a na výrobní halu napojena potrubními a kabelovými rozvody. Vstup do stanice je možný bočními vraty, kterými také probíhá manipulace s tlakovou nádobou. Parametry kontejneru jsou:

- výška: 2,74 m,
- šířka: 3,740 m,
- hloubka: 2,24 m. [24]

Na následujícím obrázku je zobrazena tlaková stanice a její blízké okolí.



Obrázek 3: Tlaková stanice čpavku

Uvnitř stanice je na vážném zařízení umístěna tlaková nádoba s amoniakem o celkové hmotnosti zhruba 1000 kg, kdy hmotnost amoniaku naplněné nádoby představuje 500 kg. Parametry válcového zásobníku jsou:

- délka: 2,38 m,
- průměr: 0,8 m. [24]

Válcový zásobník je připevněn k podstavci o hmotnosti 40-80 kg. Celková výška nádoby s podstavcem činí zhruba 1 m. [24]

Na následujícím obrázku je znázorněna tlaková nádoba včetně podstavce.



Obrázek 4: Tlaková nádoba s podstavcem

Nádoba je tlakovou hadicí připojena k potrubí o rozměrech 21,3x1,6 mm. Na potrubí se nachází vzdáleně ovládaný řídicí ventil. Ventil zůstává trvale otevřený, k jeho zavření dojde pouze v případě zjištění úniku čpavku ve výrobní hale, při výměně tlakové nádrže či při odstávce. Potrubí je na výstupu z kontejneru zúženo na rozměry 14x1,5 mm. [24]

Čpavek je v kontejneru udržován v rozmezích tlaků 5-20 bar g. Minimální hodnota je dána funkčností zařízení, tedy spolehlivým dodáním kapalného čpavku do výrobní haly, maximální hodnota je stanovena otevíracím tlakem pojistného ventilu. Rozmezí tlaků odpovídá teplotám 10-53 °C. Součástí kontejneru je topidlo zajišťující vhodnou teplotu čpavku v nádobě. [24]

Při dopravě čpavku potrubím do výrobní haly je čpavek podchlazován pod aktuální vypařovací teplotu pomocí deskového výměníku chlazeného glykolem o teplotě -12 °C. Chlazení je prováděno z důvodu zajištění kapalně fáze čpavku během přepravy. [24]

Na následujících obrázcích jsou znázorněny vnitřní prostory stanice bez tlakové nádoby. Na obrázku 5 lze na levé straně vidět chladicí okruh glykolu a v rohu u podlahy topidlo kontejneru. V prostřední části se nachází potrubí, kterým je čpavek veden, včetně ventilů.



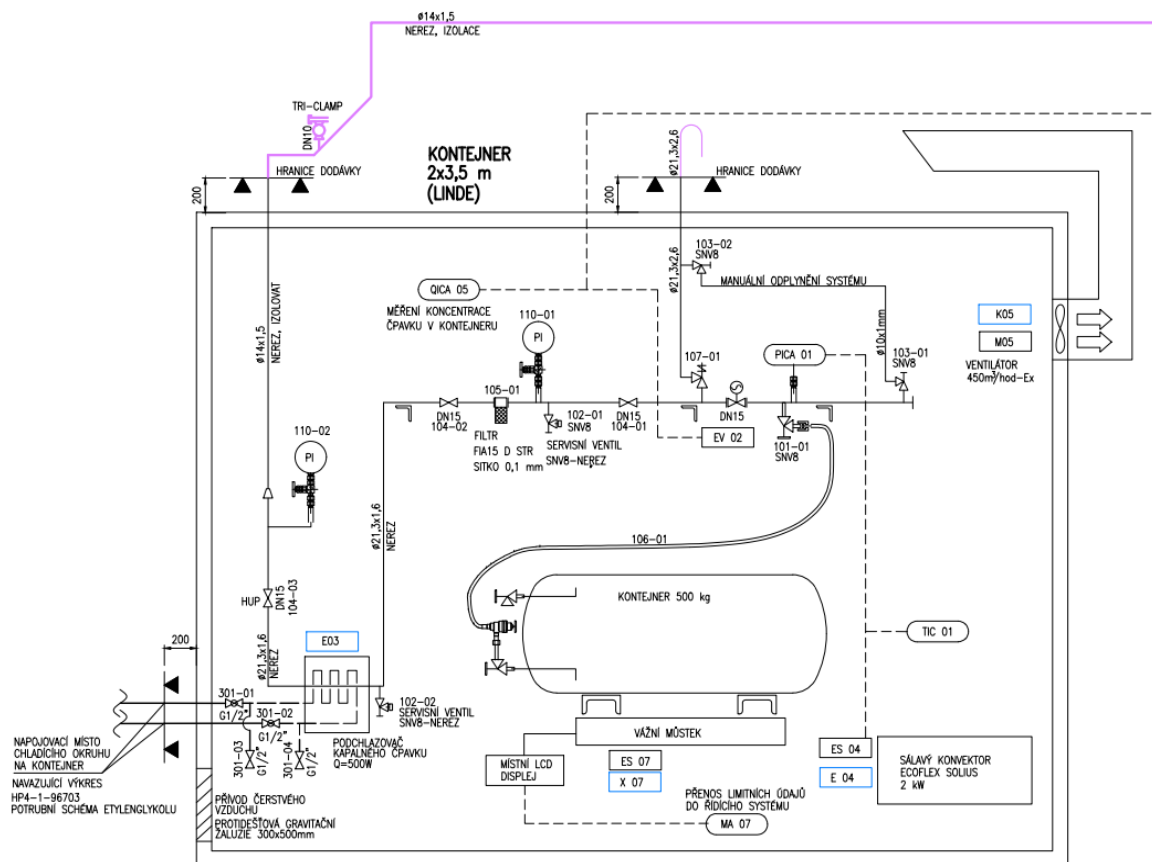
Obrázek 5: Vnitřní prostor stanice (1)

Na obrázku 6 se nachází protější stěna stanice včetně polostabilního hasicího zařízení a detektoru úniku čpavku.



Obrázek 6: Vnitřní prostor stanice (2)

Následující obrázek znázorňuje schéma tlakové stanice včetně tlakové nádoby.



Obrázek 7: Schéma tlakové stanice

Na obrázku 8 lze vidět potrubí spojující stanici a výrobní halu. Nejuzší potrubí o rozměru 14x1,5 mm je využíváno pro dopravu čpavku do výrobní haly; potrubí je z nerezového materiálu a zatepleno pro zajištění bezpečnosti obsluhy a zabránění kondenzaci vody na jeho povrchu. Čpavek procházející potrubím dosahuje teplot v rozsahu -20 až -8 °C. [24]



Obrázek 8: Potrubí spojující stanici a výrobní halu

Provoz stanice je plně automatický a stanice je mimo výměnu zásobníku uzamčena.

4.4 Výměna zásobníku

Zhruba každé tři týdny dochází k výměně vyprázdněného zásobníku amoniaku za plný. Výměnu provádějí dva zaměstnanci pomocí vysokozdvizného vozíku. Interval výměny je stanoven na základě váhy tlakové nádoby; tento parametr je měřen vážním zařízením a data jsou posílána do řídicího systému ve výrobní hale. Informace o váze tlakové nádoby jsou také dostupná na monitoru ve stanici. Řídicí systém data automaticky vyhodnocuje a hlásí, kdy je potřeba prázdnou nádobu nahradit.

Nejdříve je plný zásobník nacházející se ve skladu přepraven pomocí vozíku k tlakové stanici. Manipulace vozíkem probíhá pomocí podstavce, ke kterému je tlaková nádoba připevněna.

U tlakové stanice je prázdná nádoba vyměněna za plnou; jeden zaměstnanec řídí vozík, zatímco druhý kontroluje umístění nádoby v kontejneru. Během výměny tlakových nádob je uzavřen ventil propojující tlakovou hadici a potrubí.

Po vyměnění je prázdná nádoba převezena do skladu.

5 Posouzení rizik tlakové stanice

V následující kapitole bude provedeno posouzení rizik tlakové stanice. K posouzení rizik byla vybrána selektivní metoda podle Purple Book, metody ETA a FTA a modelování programem ALOHA.

5.1 Selektivní metoda

Tlaková stanice bude zhodnocena selektivní metodou, aby bylo možné zjistit, jak závažné by byly následky havárie.

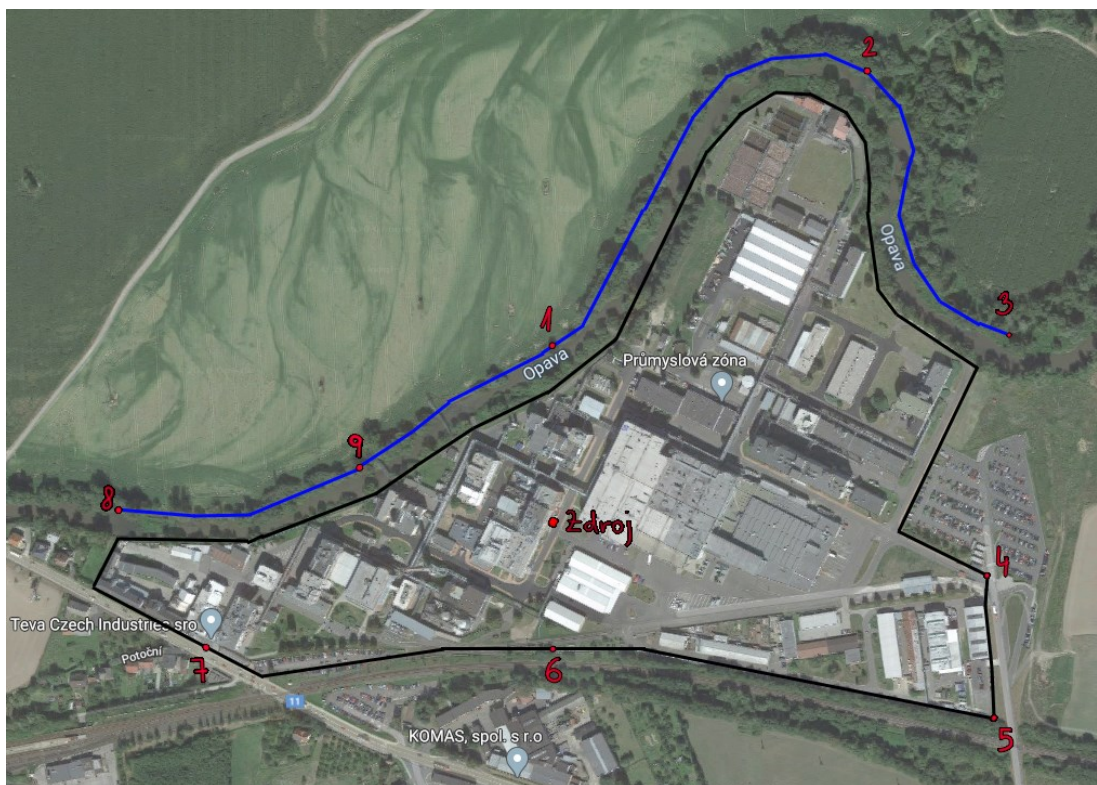
Množství amoniaku v tlakové stanici po doplnění nové nádoby činí 500 kg. Látky postupně ubývá, zatímco je využívána k chemické reakci, pro potřeby selektivní metody však budeme uvažovat nejvyšší možné množství.

Tlaková nádoba je součástí procesu, faktor O_1 je roven 1. Zařízení je umístěno v jímce a provozní teplota převyšuje teplotu bodu varu o více než 5 stupňů, je tedy faktor O_2 roven 1. Amoniak se nachází v kapalném skupenství, kdy tlak nasycených par překračuje 3 bary, proto je faktor O_3 roven 10.

Mezní hodnota G je určena pro toxickou látku. Skupenství amoniaku při 25 °C je plynné. Hodnota LC_{50} dané látky odpovídá 4150 ppm. Hodnota G je rovna 3000.

Po výpočtu a zaokrouhlení je indikační číslo A rovno 1,7.

Pro určení selektivního čísla byly vybrány hranice objektu dle následujícího schématu. Pro kontrolní body byla využita hranice podniku, vstupy na území a tok Opava podél severní části hranice.



Obrázek 9: Kontrolní body

Kontrolní bod	Vzdálenost od tlakové stanice	Selektivní číslo S^T
1	166	0,617
2	525	0,062
3	462	0,080
4 (vrátnice na východní straně)	409	0,102
5	455	0,082
6	131	0,991
7 (vrátnice na západní straně)	343	0,144
8	409	0,102
9	212	0,378

Nejvyšší selektivní čísla vyšla podél jižní hranice objektu s železniční tratí. Žádné selektivní číslo nevyšlo vyšší než jedna, tudíž výsledky metody nepoukazují na možnost ohrožení okolí podniku. Provoz však stále může představovat riziko v rámci areálu, a proto byly vybrány další metody pro posouzení rizik a zjištění možných nebezpečí.

5.2 Modelování programem ALOHA

Pro modelování byly navrženy tři různé scénáře popisující odlišné události úniku látky. V prvním scénáři dojde k úniku amoniaku přímo z tlakové nádoby v místě ventilu napojujícího nádobu na potrubí. K úniku dojde přímo v tlakové stanici, v důsledku např. netěsnícího ventilu. V rámci druhého scénáře dojde k úniku amoniaku z potrubí spojujícího kontejner s výrobní budovou; potrubí prochází venkovním prostorem, a tudíž amoniak bude unikat volně do atmosféry. Ve třetím scénáři dojde k poškození tlakové nádrže během přepravy ze skladu; nádrž spadne z vysokozdvizného vozíku a dojde k jejímu protržení při dopadu na silnici.

Všechny scénáře jsou modelovány ve dvou meteorologických situacích. Meteorologické podmínky byly určeny dle bezpečnostního programu podniku Teva Czech Industries. V prvním případě jsou pro modelování využity nejčastější podmínky dané lokality, konkrétně neutrální podmínky atmosféry, slabý vítr o rychlosti 5 m/s a jihozápadním směru. V druhém případě se jedná o nejhorší podmínky z hlediska možných následků, v atmosféře nastává inverze s větrem o rychlosti 1,7 m/s západního směru.

Stanovené podmínky modelování jsou pro přehlednost uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 4: Meteorologické podmínky modelování

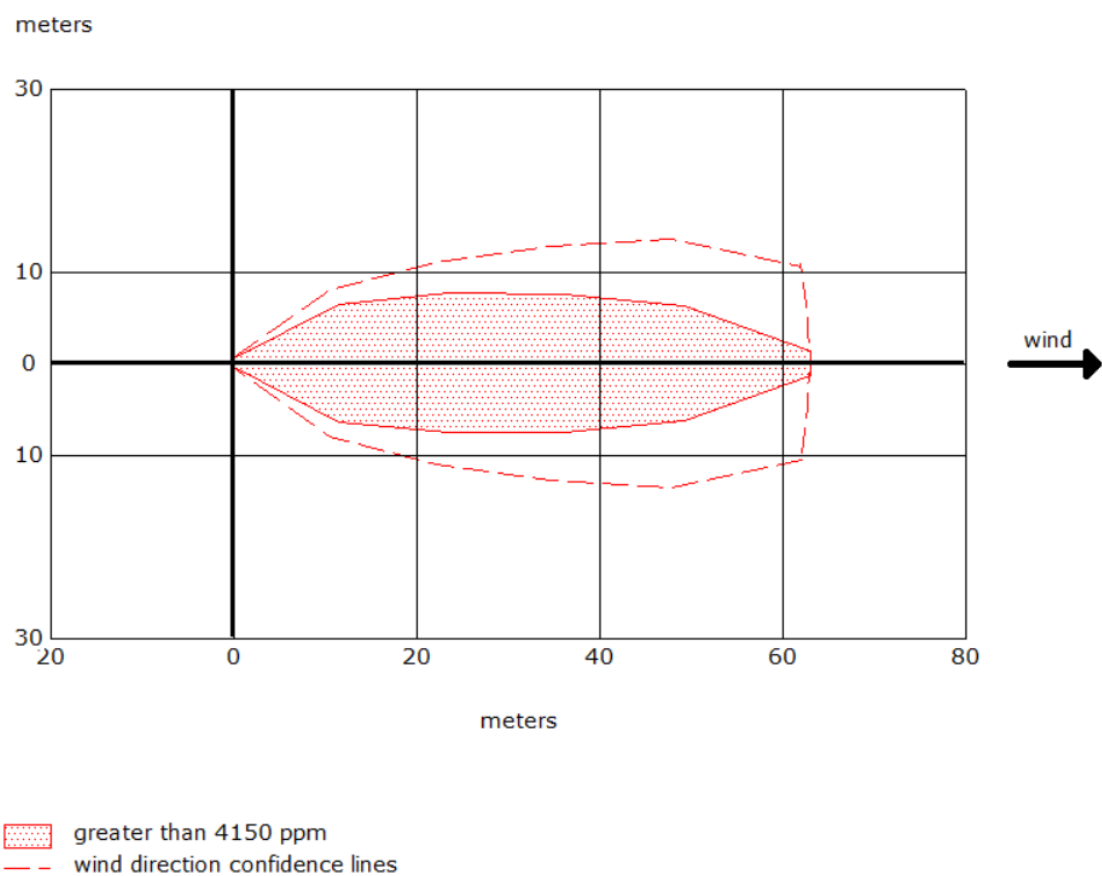
Situace	Rychlost větru [m/s]	Směr větru	Teplota vzduchu [°C]	Třída stability	Relativní vlhkost [%]	Inverze	Smrtelná koncentrace [ppm]
Běžná	5	JZ	9	D	50	Ne	4150
Nejhorší	1,7	Z	9	F	50	Ano	4150

Pro modelování byla využita koncentrace amoniaku 4150 ppm, která představuje smrtelnou koncentraci, při které je očekávaná 1% smrtelnost. Hodnota byla určena dle probitové funkce stanovené programem EFFECTS.

5.2.1 Únik ventilem

V prvním scénáři dochází k úniku kontaminantu ventilem, zatímco je tlaková nádoba umístěná ve stanici. Amoniak uniká po dobu deseti minut, kdy za tento interval dojde k úniku 454 kg látky.

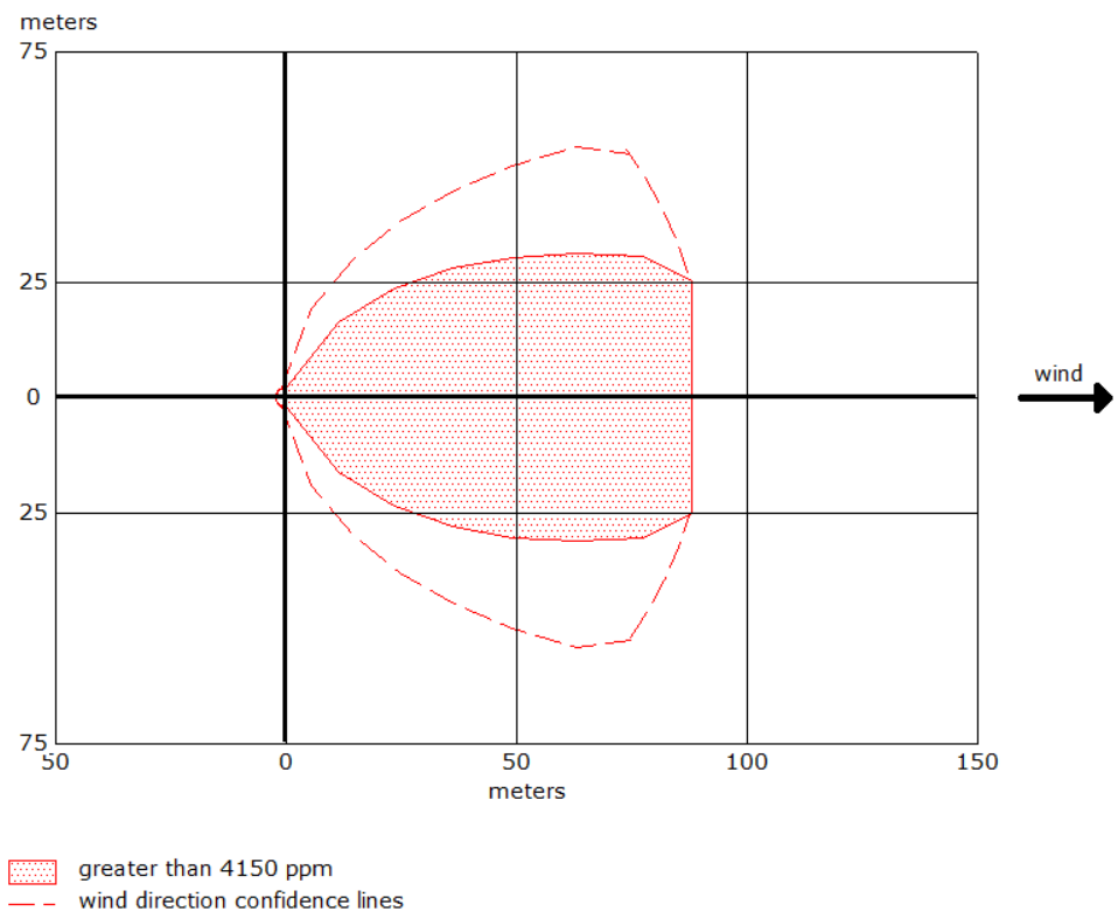
Na následujících obrázcích lze porovnat schématické i mapové znázornění toxického mraku za běžných a za nejhorších meteorologických podmínek, kdy dojde k inverzi. V obou situacích má výsledný toxický mrak dosah pouze v areálu podniku s rozdílem v šířce rozptýlu; mrak vznikající během inverze nabývá podstatně širšího tvaru a pokrývá větší plochu areálu. Dosah toxického mraku vychází zhruba na 63 a 88 metrů. Za žádné situace nemůže dojít k úniku smrtelné koncentrace látky mimo areál podniku, což se shoduje s výsledky provedené selektivní metody. Zasažené jsou pouze budovy v blízkosti zdroje rozptýlu a komunikace.



Obrázek 10: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik ventilem, běžné podmínky)



Obrázek 11: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik ventilem, běžné podmínky)



Obrázek 12: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik ventilem, inverze)

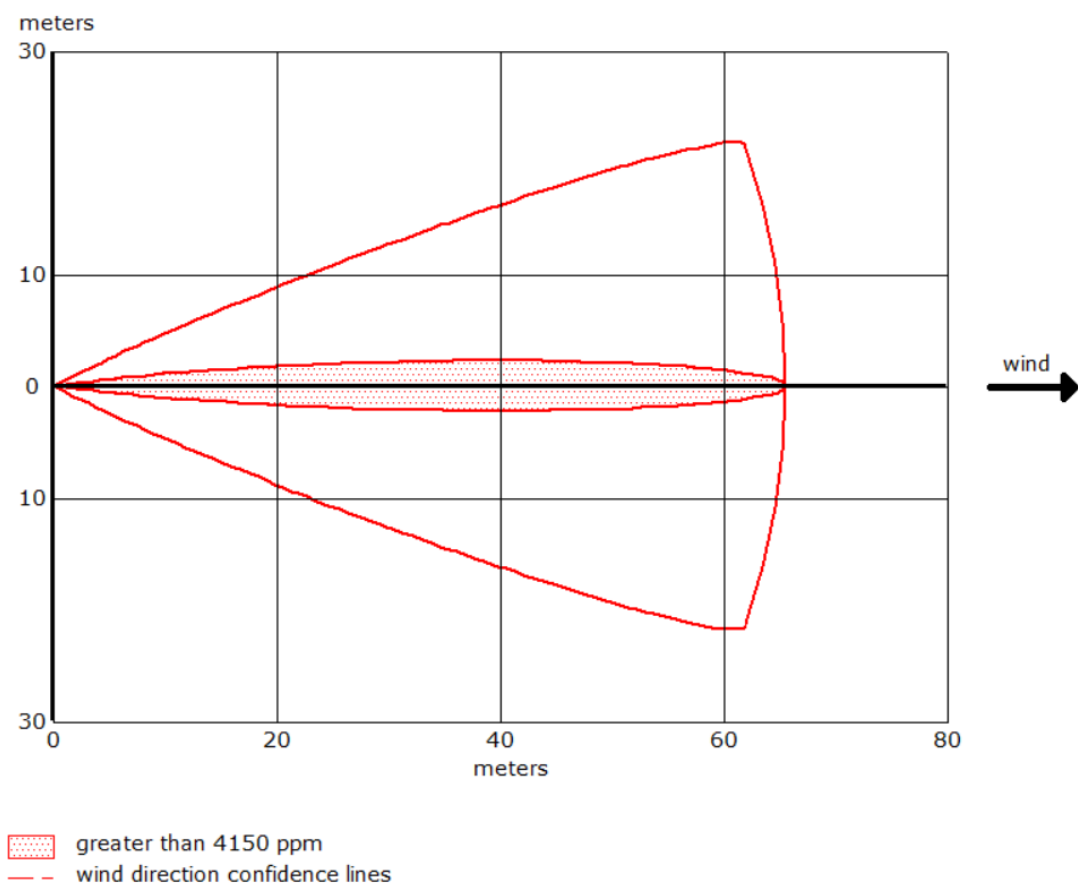


Obrázek 13: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik ventilem, inverze)

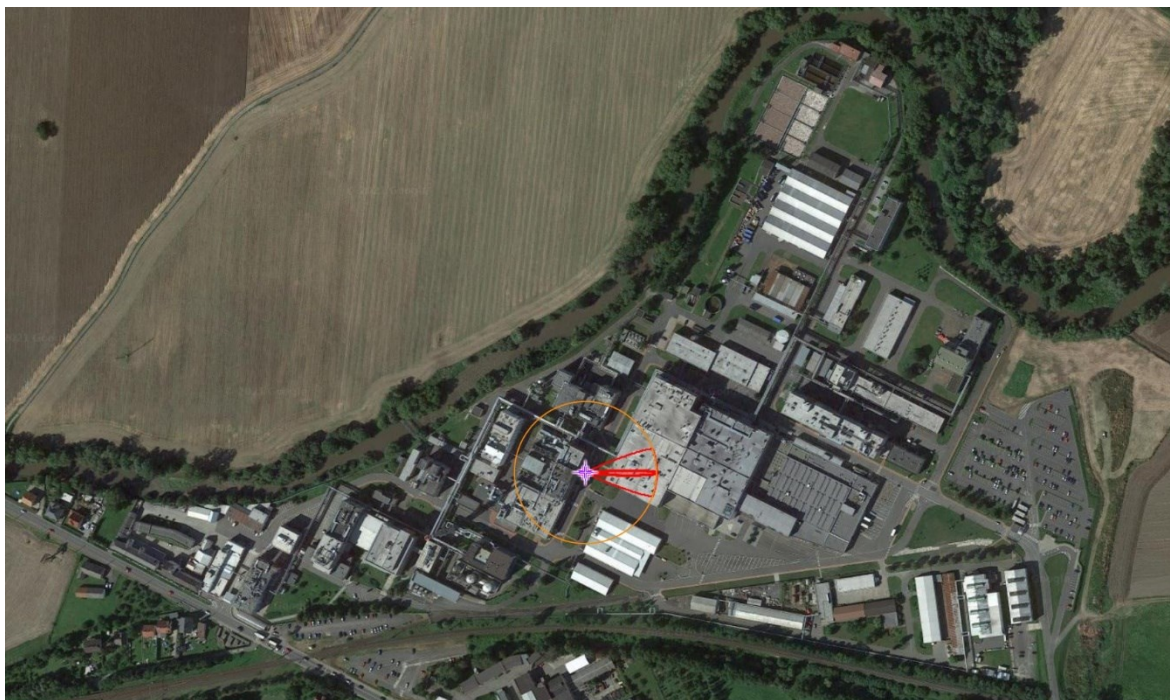
5.2.2 Únik potrubím

V této situaci dojde k úniku amoniaku z potrubí spojujícího tlakovou stanici a budovu výroby. Potrubí prochází vnějším prostorem. Celková délka tohoto úseku je zhruba 20 m. Potrubí má rozměry 14x1,5 mm a je izolováno.

Po zadání dat do programu ALOHA nebylo grafické znázornění pro běžné podmínky vymodelováno z důvodu krátkého rozsahu toxického mraku, kdy nebyl program schopný dobře předvídat tvar toxického mraku. Rozsah v tomto případě činí zhruba 20 metrů. V případě inverze dochází k rozsahu na 66 metrů a úniku po dobu 12 minut. Únik probíhá na velmi malé ploše, zasažena je pouze komunikace a protější budova. V obou případech unikne 63,5 kg látky.



Obrázek 14: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik potrubím, inverze)



Obrázek 15: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik potrubím, inverze)

5.2.3 Únik dírou

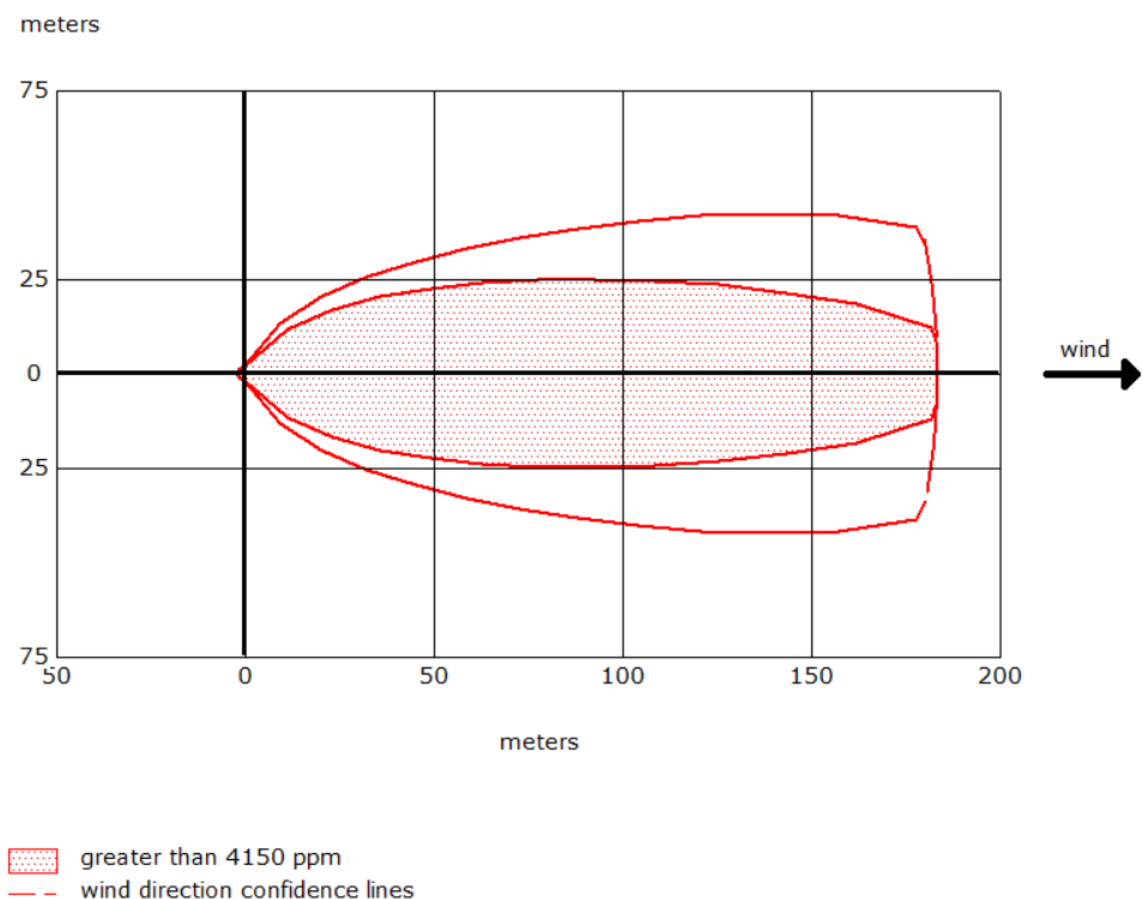
V tomto scénáři dojde k havárii vysokozdvizného vozíku a pádu tlakové nádoby. Nádoba se při dopadu na silnici roztrhne a dojde k náhlému úniku látky. Pro modelování byl navržen malý, úzký otvor tvaru obdélníku o délce 5 cm a šířce 1 cm. Pro modelování byl bod rozptylu zasazen zhruba v polovině cesty mezi tlakovou stanicí a skladem v pravoúhlé zatáčce.

K vymodelovanému úniku dochází po dobu 2 minut a unikne 454 kg látky. Amoniak uniká nejvyšší udržitelnou rychlostí 440 kg/min.

Toxický mrak při běžných podmínkách zasáhne pouze areál podniku. V případě změny větru by mohlo dojít k zasažení řeky Opavy severně od místa úniku. Zasažená oblast za jižní hranicí by závisela na skutečném místě havárie, kdy v modelovaném případě by došlo k rozptýlu pouze v areálu. Pokud by k havárii došlo u tlakové stanice, toxický mrak by se mohl rozptýlit až k podniku KOMAS nacházejícímu se jižně od železnice. Rozsah toxického mraku za běžných podmínek činí 184 metrů.

V případě inverze se za modelovaných podmínek se toxický mrak v modelovém případě rozšíří pouze v areálu podniku. Za změny větru by mohlo dojít k ohrožení řeky

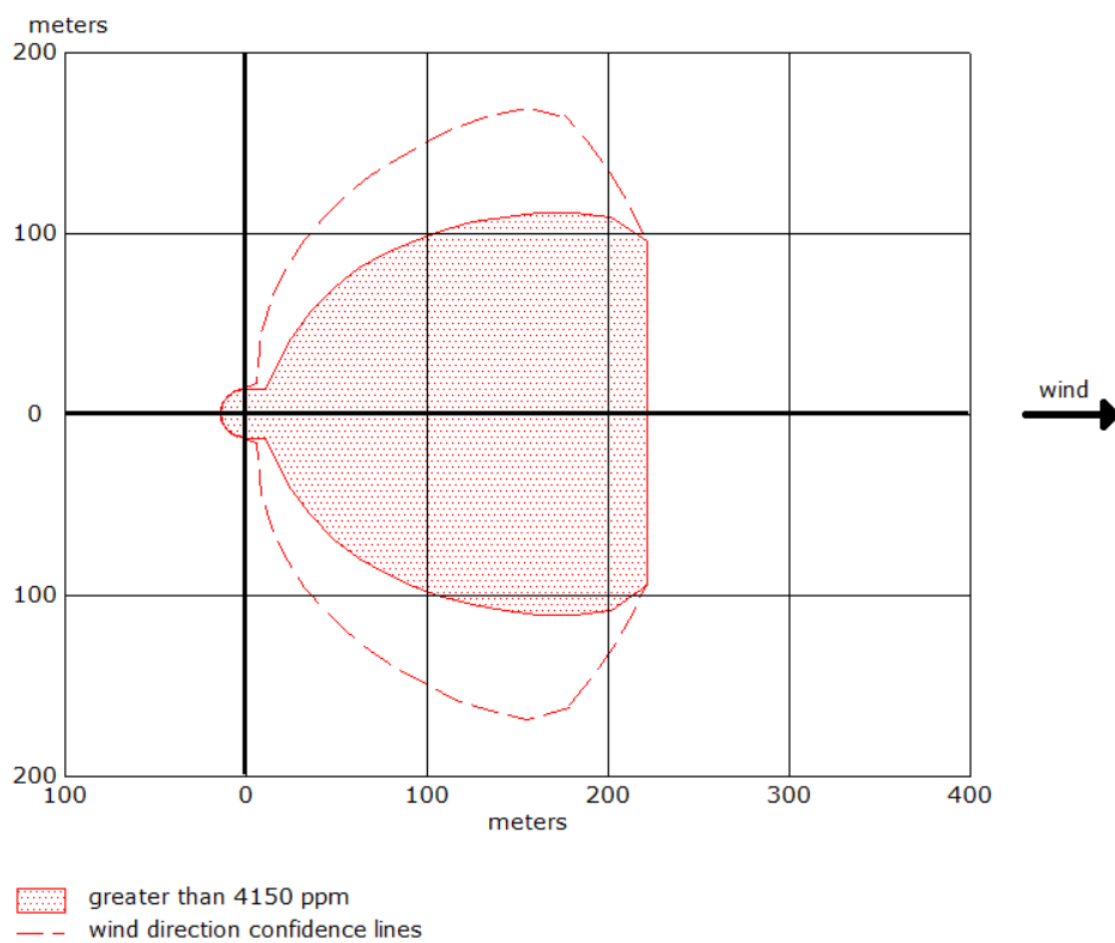
Opavy severně a značné části pole, jižně by se mrak mohl rozptýlit přes hranici areálu k železniční trati. Podobně jako u scénáře nastávajícího za běžných podmínek by zasažená plocha za jižní hranicí závisela na skutečném místě havárie, kdy při úniku v blízkosti tlakové stanice by mohlo dojít k ohrožení velké části podniku KOMAS. Rozsah toxického mraku za inverze činí 222 metrů. Tento scénář je z hlediska následků nejzávažnější.



Obrázek 16: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik dírou, běžné podmínky)



Obrázek 17: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik dírou, běžné podmínky)



Obrázek 18: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik dírou, inverze)



Obrázek 19: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik dírou, inverze)

5.2.4 Vyhodnocení programu ALOHA

Celkem bylo modelováno 6 různých scénářů, kdy většina výsledků odpovídala dříve provedené selektivní metodě. Nejméně závažným scénářem je únik látky z potrubí spojujícího tlakovou stanici a výrobní budovu, kde se dále amoniak využívá. Maximální vzdálenost rozptylu toxického mraku o smrtelné koncentraci zde činí 66 metrů (při inverzi). Hrozí zde pouze zasažení komunikace a blízkých budov. Rozptyl v tomto scénáři také nabývá velmi úzkého tvaru.

Jako nejhorší scénář dle programu ALOHA vychází situace, kdy dojde k protržení nádoby během přepravy. Za určitých podmínek by mohlo dojít k rozptylu toxického mraku až za hranice areálu. Závisí na místě havárie, kdy pro modelování byl využit bod zhruba v polovině trasy mezi skladem a tlakovou stanicí. Pokud by k havárii došlo přímo u tlakové stanice a vítr váł jižně, mohlo by dojít k rozptylu mraku až za hranice areálu a ohrožení železnice a podniku KOMAS. Míra zasažení by závisela na meteorologických podmínkách, kdy při inverzi je rozptyl výrazně horší z hlediska plochy i vzdálenosti.

Na následující tabulce jsou přehledně shrnuty charakteristiky všech úniků.

Tabulka 5: Shrnutí modelovaných scénářů

Scénář	Doba úniku [min]	Maximální průměrná rychlost úniku [kg/min]	Uniklé množství [kg]	Maximální vzdálenost dosahu smrtelné koncentrace [m]
Únik ventilem; běžné podmínky	10	49,5	454	63
Únik ventilem; inverze	10	49,5	454	88
Únik potrubím; běžné podmínky	12	12,8	63,5	20
Únik potrubím; inverze	12	12,8	63,5	66
Únik dírou; běžné podmínky	2	440	454	184
Únik dírou; inverze	2	440	454	222

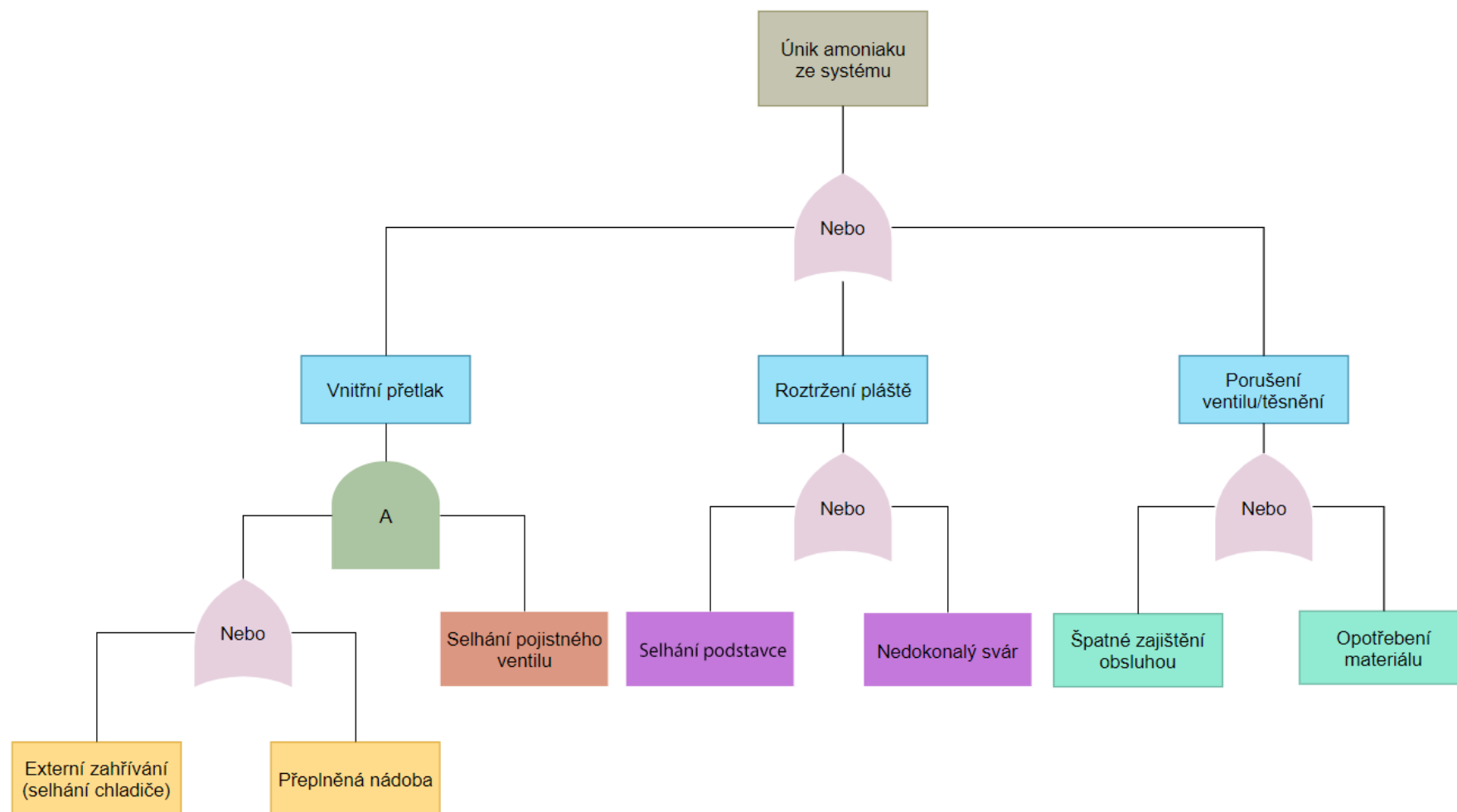
Textové výstupy programu ALOHA jsou dostupné v Příloze 1.

5.3 FTA

Analýza stromu poruchových stavů byla využita pro zjištění možných poruch vedoucích k havárii. Jako vrcholová událost byl stanoven únik amoniaku z nádoby v tlakové stanici.

Z důvodu nedostatku podkladů o procesu není součástí analýzy výpočet četností jednotlivých poruch.

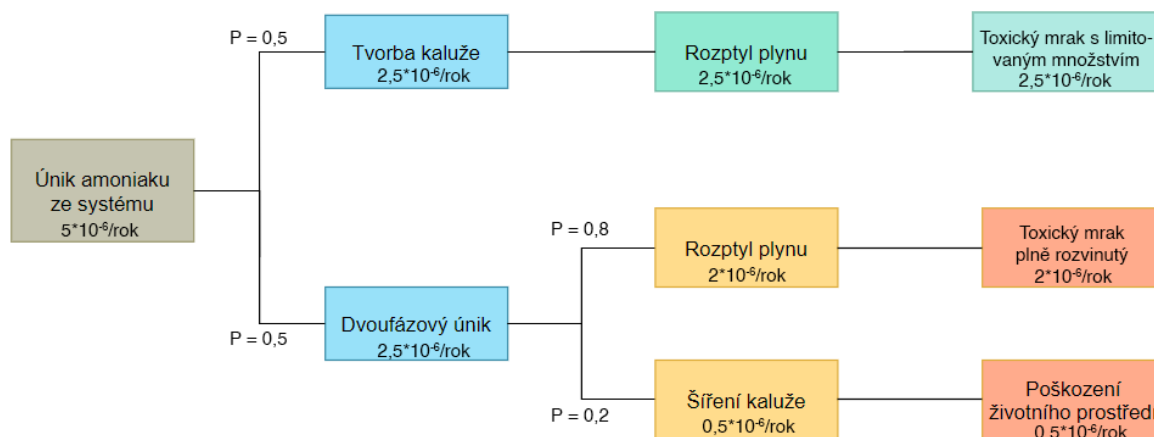
Dle vyhotoveného diagramu (obrázek lze vidět, že většina příčin vzniká v důsledku technické závady (selhání podpěry, chladiče, pojistného ventilu, opotřebení materiálu...), ovšem vyskytuje se zde i selhání v důsledku lidské chyby.



Obrázek 20: Strom poruch tlakové stanice

5.4 ETA

Pro zhodnocení následků úniku amoniaku z tlakové stanice byla provedena analýza stromu událostí. Jako iniciační událost byl zvolen únik amoniaku ze systému s roční frekvencí $5 \cdot 10^{-6}$. Frekvence byla stanovena na základě odborné literatury. Na následujícím obrázku jsou znázorněny jednotlivé scénáře.



Obrázek 21: Strom událostí tlakové stanice

Scénářem s největší pravděpodobností je tvorba toxické kaluže s rozptylem plynu a následným toxickým mrakem s limitovaným množstvím s roční frekvencí $2,5 \cdot 10^{-6}$.

6 Bezpečnostní opatření

Následující kapitola se zabývá bezpečnostními opatřeními tlakové stanice. Součástí je jak shrnutí již stávajících opatření, tak i navržení nových na základě provedené analýzy.

6.1 Stávající bezpečnostní opatření

Tlaková stanice je vybavena kontinuální detekcí úniku skladovaného plynu. Detektor je v nevýbušném provedení umístěn pod stropem. V případě detekce zvýšené koncentrace přesahující 30 ppm (1. limit) dojde ke spuštění signalizace na vzdáleném pracovišti obsluhy a ve stanici bude automaticky zapnuta havarijní ventilace, která bude čpavek odvětrávat směrem k silnici před stanicí. [24] [25]

Při dosažení koncentrace 100 ppm (2. limit) bude vypnut přívod elektrického proudu do stanice s výjimkou napájení havarijní ventilace a nouzového osvětlení. Nouzové osvětlení je v nevýbušném provedení. Informace o překročení limitu bude přenášena na OPIS HZS TCI. Ve stanici se při překročení limitu zapne světelná signalizace. [24] [25]

Stanice je dále vybavená zařízením elektrické požární signalizace a vodním polostabilním hasicím zařízením. V případě požáru bude na vnější přípojku PSHZ napojena cisterna zasahující jednotky, která zajistí dodávku tlakové vody do skrápěcího systému a zajistí jímání výparů čpavku. [24]

V případě skrápění výparů se pod podlahou v celé ploše kontejneru nachází bezpečnostní zachytá vana s odvodem mimo kontejner.

Součástí potrubního systému v kontejneru je pojistný ventil. Odfuk potrubí prochází stropem kontejneru a je zakončen „fajfkou“ pro zamezení vniku dešťové vody. [24]

6.2 Navržená opatření

Stávající bezpečnostní opatření jsou vhodně navržená, avšak zaměřená na vnitřní prostor tlakové stanice. Venkovní potrubí spojující tlakovou stanici a výrobní budovu není nijak zajištěno a případný únik je nezjistitelný. Proto by bylo vhodné nainstalovat čidla ve venkovním prostoru, případně navrhnout systém, který zjistí únik plynu mezi tlakovou stanicí a odběrným místem ve výrobní budově.

Rizikem s vysokou závažností je dále nehoda při přepravě s možností protržení tlakové nádoby. Toto riziko by šlo eliminovat vytvořením vhodnějšího místa pro skladování plných tlakových nádob, které by se mohlo nacházet blíže samotné tlakové stanici. Jedná se ovšem o nákladnější řešení omezené technickými možnostmi podniku (dovoz a odvoz tlakových nádob mimo areál).

Tlaková stanice s amoniakem je novou technologií vyskytující se v podniku, a proto je potřeba dbát na vhodné zaučení všech osob pracujících s technologií, aby bylo možné předejít nehodám v důsledku neznalosti či nezkušenosti. Zaměstnanci by měli být vhodně proškoleni o provozu technologie, stejně tak jako o průběhu přepravy tlakové stanice ze skladu. Přeprava by měla být vhodně zajištěna, aby bylo riziko nehody sníženo na minimum.

Další možností, jak zvýšit povědomí o rizicích tohoto provozu je uskutečnění havarijního cvičení, které prověří nejen schopnost zásahu jednotek, ale také chování zaměstnanců v případě nastalé havárie.

Dále lze zavést pravidelnou vizuální prohlídku technologie ve stanici pro zajištění správného fungování všech součástí. Prohlídka by byla zaměřená na jednotlivé části technologie, jejichž selhání může vést k úniku látky (těsnost spojů, ventilů aj.). Prohlídka by mohla být součástí procesu výměny tlakové stanice nebo provedena nezávisle. Samozřejmostí je, aby byla provedena osobou proškolenou v provozu technologie a všech jejích aspektech, stejně tak jako v možných rizicích, která tato technologie představuje.

Závěr

Předmětem této diplomové práce byly zhodnocení rizik na pracovišti tlakové stanice obsahující amoniak z hlediska prevence závažných havárií. Analyzovaná tlaková stanice je součástí technologie výroby léčiv. Ačkoliv tato technologie není významným zdrojem rizika v tomto podniku a patří mezi nezařazené zdroje, i tak se jedná o pracoviště, kterému by měla být při managementu rizik věnovaná pozornost.

Pro analýzu byla nejprve využita selektivní metoda podle Purple Book pro stanovení míry rizika, které stanice představuje pro okolí podniku. I přes příznivé výsledky nenaznačující ohrožení podniku byly zvoleny další metody analýzy pro podrobnější zhodnocení rizik v rámci podniku. Pomocí metody FTA byly stanoveny možné příčiny úniku amoniaku ze systému a pomocí metody ETA možné následky tohoto úniku. Dále bylo využito modelování pomocí programu ALOHA pro určení možných následků jak během provozu, tak i před jeho zahájením, tj. při přepravě tlakové stanice.

Na základě výsledků provedených metod byla navržena opatření pro snížení rizik. Již před započítáním této práce byla aplikovaná řada opatření, která podstatně snižují rizika na pracovišti, analýza však odhalila oblasti, na které je možné se dále zaměřit. Cíl práce byl splněn.

Tato práce poslouží podniku Teva Czech Industries jako podklad pro případnou úpravu bezpečnostních opatření v dané technologii.

Zdroje

- [1] ČSN ISO 31000 *Management rizik - Principy a směrnice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018;
- [2] ČSN ISO 31010 *Management rizik - Techniky posuzování rizik*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010;
- [3] ČSN online pro jednotlivě registrované uživatele. Česká agentura pro standardizaci [online]. Praha 1: Česká agentura pro standardizaci, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/Vysledky.aspx>;
- [4] Metody hodnocení rizik|BOZPinfo.cz. *BOZPinfo.cz - Časopis JOSRA* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/metody-hodnoceni-rizik>;
- [5] FRIEND, Mark A. a James P. KOHN. *Fundamentals of Occupational Safety and Health*. 4th ed. United States of America: Government Institutes, 2007. ISBN 978-0-86587-171-7;
- [6] NEUGEBAUER, Tomáš. *Vyhledání a vyhodnocení rizik v praxi*. 3. vydání. Praha: Wolters Kluwer, 2018. ISBN 978-80-7552-072-2;
- [7] *Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce*. In: . 2006, ročník 2006, číslo 262. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>
- [8] ALOHA®. U.S. Department of Commerce • National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020;
- [9] ALOHA's limitations|response.restoration.noaa.gov. *Response. restoration. noaa.gov | Our role is stewardship; our product is science* [online]. Office of Response and Restoration|NOAA's Ocean Service, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/response-tools/alohas-limitations.html>;
- [10] EUROPA - eMARS Accident Details - European Commission. *EUROPA - eMARS Dashboard - European Commission* [online]. EU: European Commission, 2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/891f340a-ac6d-11e9-bd0d-005056ad0167>;

- [11] EUROPA - eMARS Accident Details - European Commission. *EUROPA - eMARS Dashboard - European Commission* [online]. EU: European Commission, 2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/21bb2929-0628-cdc5-52e8-1d8840256db4>;
- [12] EUROPA - eMARS Accident Details - European Commission. *EUROPA - eMARS Dashboard - European Commission* [online]. EU: European Commission, 2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/72559835-34e1-1ab5-15c0-f90b09104b5a>;
- [13] EUROPA - eMARS Accident Details - European Commission. *EUROPA - eMARS Dashboard - European Commission* [online]. EU: European Commission, 2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/21bb2929-0628-cdc5-52e8-1d8840256db4>;
- [14] Accident Report Detail|Occupational Safety and Health Administration. *Home|U.S. Department of Labor* [online]. Washington, DC 20210: U.S.Department of Labor [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/accident/view/9dd20933-bd85-f2aa-f39e-257c0e7c470c>;
- [15] Accident Report Detail|Occupational Safety and Health Administration. *Home|U.S. Department of Labor* [online]. Washington, DC 20210: U.S.Department of Labor [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.osha.gov/pls/imis/accidentsearch.accident_detail?id=201690070;
- [16] *Substances-AtoC-details*. : CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD, 2000. Dostupné také z: <https://www.icheme.org/media/7173/substances-atoc-details.pdf>;
- [17] Improving health since 1901. *Teva Pharmaceutical Industries Ltd.* [online]. Teva Pharmaceutical Industries, 2019-20 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.tevapharm.com/our-company/teva-history/>;

- [18] Naše historie a současnost - v České republice. *Teva Czech Industries* [online]. Praha: Teva Pharmaceuticals CR [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.teva.cz/About-Teva/article-pages/Teva-Czech-History/>;
- [19] TEVA CZECH INDUSTRIES s.r.o. / 2008. In: *CHVÁLEK ATELIÉR s.r.o. - 3D architektura & design* [online]. Ostrava: Chválek ateliér, 2016 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.chvalekatelier.cz/teva-czech-industries-s-r-o-2008_re76;
- [20] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií I.* Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-86634-89-2;
- [21] *Guideline for quantitative risk assessment 'Purple book' CPR 18E.* 2005. Dostupné také z: <https://content.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf>;
- [22] Metody pro výběr zdrojů rizika závažné havárie | Předpisy, normy, vzory a příklady z oblasti kvality, ISO a strojních zařízení. *Předpisy, normy, vzory a příklady z oblasti kvality, ISO a strojních zařízení* [online]. Praha 6: Dashöfer Holding, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.qmprofi.cz/33/metody-pro-vyber-zdroju-rizika-zavazne-havarie-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eou0c_K0wh9GHzPYe8gL46w/;
- [23] Analýza rizik|GUARD7. *Bezpečnost práce a požární ochrana|GUARD7* [online]. Pardubice [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.guard7.cz/lexikon/analyza-rizik>;
- [24] VOJKOVSKÁ, Ilona. *Technická zpráva.* Teva Czech Industries s.r.o., 2019;
- [25] *Protokol o určení vnějších vlivů vypracovaný odbornou komisí.* Praha, 2019.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma řízení rizik (upraveno dle [1])	7
Obrázek 2: Teva Czech Industries [19]	27
Obrázek 3: Tlaková stanice čpavku.....	28
Obrázek 4: Tlaková nádoba s podstavcem	29
Obrázek 5: Vnitřní prostor stanice (1).....	30
Obrázek 6: Vnitřní prostor stanice (2).....	30
Obrázek 7: Schéma tlakové stanice	31
Obrázek 8: Potrubí spojující stanici a výrobní halu	32
Obrázek 9: Kontrolní body	35
Obrázek 10: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik ventilem, běžné podmínky).....	38
Obrázek 11: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik ventilem, běžné podmínky).....	38
Obrázek 12: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik ventilem, inverze).....	39
Obrázek 13: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik ventilem, inverze).....	39
Obrázek 14: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik potrubím, inverze)	40
Obrázek 15: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik potrubím, inverze)	41
Obrázek 16: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik dírou, běžné podmínky).....	42
Obrázek 17: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik dírou, běžné podmínky).....	43
Obrázek 18: Schéma rozsahu toxického mraku (Únik dírou, inverze).....	43
Obrázek 19: Rozsah toxického mraku na mapě (Únik dírou, inverze)	44
Obrázek 20: Strom poruch tlakové stanice.....	46
Obrázek 21: Strom událostí tlakové stanice	47

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vhodnost vybraných metod analýzy rizik dle fáze procesu posuzování rizik (upraveno dle [2])	14
Tabulka 2: Vhodnost vybraných metod analýzy rizik dle fáze procesu (upraveno dle [20])	15
Tabulka 3: Hodnoty faktoru O_2 [21]	19
Tabulka 4: Meteorologické podmínky modelování.....	36
Tabulka 5: Shrnutí modelovaných scénářů	45

Příloha 1 – Textové výstupy programu ALOHA

– Scénář 1: Únik ventilem, běžné podmínky

SITE DATA:

Location: OPAVA, CZECHIA

Building Air Exchanges Per Hour: 1.03 (user specified)

Time: February 10, 2021 1410 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7

Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from sw at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 9° C

Stability Class: D

No Inversion Height

Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 0.8 meters

Tank Length: 2.38 meters

Tank Volume: 1.20 cubic meters

Tank contains liquid

Internal Temperature: 9° C

Chemical Mass in Tank: 0.5 tons

Tank is 60% full

Circular Opening Diameter: 1.5 centimeters

Opening is 0 meters from tank bottom

Release Duration: 10 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 49.5 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 454 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 63 meters --- (4150 ppm)

– Scénář 1: Únik ventilem, inverze

SITE DATA:

Location: OPAVA, CZECHIA

Building Air Exchanges Per Hour: 1.03 (user specified)

Time: February 10, 2021 1410 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.7 meters/second from w at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 9° C

Stability Class: F (user override)

Inversion Height: 200 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 0.8 meters Tank Length: 2.38 meters

Tank Volume: 1.20 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 9° C

Chemical Mass in Tank: 0.5 tons Tank is 60% full

Circular Opening Diameter: 1.5 centimeters

Opening is 0 meters from tank bottom

Release Duration: 10 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 49.5 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 454 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 88 meters --- (4150 ppm)

– Scénář 2: Únik potrubím, běžné podmínky

SITE DATA:

Location: OPAVA, ČESKA REPUBLIKA

Building Air Exchanges Per Hour: 0.81 (sheltered single storied)

Time: July 25, 2020 1527 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from sw at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 9° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Flammable gas escaping from pipe (not burning)
Pipe Diameter: 2.13 centimeters Pipe Length: 30 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 3.56 sq cm
Pipe Press: 2 atmospheres Pipe Temperature: 9° C
Release Duration: 1 minute
Max Average Sustained Release Rate: 0.135 grams/sec
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 8.10 grams

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red : less than 10 meters(10.9 yards) --- (4150 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

– Scénář 2: Únik potrubím, inverze

SITE DATA:

Location: OPAVA, ČESKA REPUBLIKA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.41 (sheltered single storied)
Time: July 25, 2020 1527 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.7 meters/second from w at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 9° C

Stability Class: F (user override)

Inversion Height: 200 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 0.8 meters Tank Length: 2.38 meters

Tank Volume: 1.20 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 9° C

Chemical Mass in Tank: 0.5 tons Tank is 60% full

Circular Opening Diameter: 2.13 centimeters

Opening is 0.80 meters from tank bottom

Release Duration: 12 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 12.8 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 63.5 kilograms

Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian

Red : 66 meters --- (4150 ppm)

– **Scénář 3: Únik dírou, běžné podmínky**

SITE DATA:

Location: OPAVA, ČESKA REPUBLIKA

Building Air Exchanges Per Hour: 0.81 (sheltered single storied)

Time: July 25, 2020 1527 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from SW at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 9° C Stability Class: D

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 0.8 meters Tank Length: 2.38 meters

Tank Volume: 1.20 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 9° C

Chemical Mass in Tank: 0.5 tons Tank is 60% full

Opening Length: 5 centimeters Opening Width: 1 centimeters

Opening is 0 centimeters from tank bottom

Release Duration: 2 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 440 kilograms/min
(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 454 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 184 meters --- (4150 ppm)

– Scénář 3: Únik dírou, inverze

SITE DATA:

Location: OPAVA, ČESKA REPUBLIKA

Building Air Exchanges Per Hour: 0.41 (sheltered single storied)

Time: July 25, 2020 1527 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol

AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.7 meters/second from w at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 9° C

Stability Class: F (user override)

No Inversion Height

Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 0.8 meters Tank Length: 2.38 meters

Tank Volume: 1.20 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: 9° C

Chemical Mass in Tank: 0.5 tons Tank is 60% full

Opening Length: 5 centimeters Opening Width: 1 centimeters

Opening is 0 centimeters from tank bottom

Note: RAILCAR predicts a stationary cloud or 'mist pool' will form.

Model Run: traditional ALOHA tank

Release Duration: 2 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 440 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 454 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red : 222 meters --- (4150 ppm)